

Modelování a optimalizace veřejného osvětlení za účelem zvýšení bezpečnosti v nočním dopravním prostoru

Road Lighting Modeling and Optimizing to Increase Safety during Night Traffic

Bc. Ondřej Neoral

Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Novák Ph.D.

Ostrava 2021

Poděkování

„Zde bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Tomášovi Novákovi, Ph.D. za jeho vytrvalost, připomínky a velmi cenné rady při zpracování mé diplomové práce.“

Abstrakt

Účelem této diplomové práce bylo namodelování reálné situace nočního dopravního prostoru s použitím jak různých typů automobilových potkávacích světlometů, tak svítidel s různými zdroji pro osvětlování pozemních komunikací podle normy ČSN EN 13201. V teoretické části je popsán správný postup zatřídění a měření osvětlenosti komunikace. Dále jsou popsány požadavky na automobilové potkávací světlomety a parametry ovlivňující viditelnost v nočním dopravním prostoru.

První část praktické práce v sobě obsahuje popis namodelované situace v programu Dialux 4.13 s různými druhy potkávacích světlometů. Druhá část této diplomové práce zahrnuje optimalizaci navržené soustavy pomocí veřejného osvětlení, kde jsou zvoleny pro porovnání dva typy svítidel v kombinaci s automobilem osazeným různými typy potkávacích světlometů. Z takto navržených situací jsou vypočteny horizontální a vertikální osvětlenosti dopravního prostoru v různých výškových úrovních. Výsledky výpočtu jsou okomentovány formou dílčího zhodnocení.

Klíčová slova

Osvětlenost, Světlomety, Osvětlovací soustava, Dialux, Bezpečnost, Noční dopravní prostor

Abstract

The purpose of this diploma thesis was to model the real situation of the night traffic space using different types of car low headlights and luminaires with different sources for road lighting according to the standard ČSN EN 13201. The theoretical part describes the correct procedure for classifying and measuring road lighting. Furthermore, the requirements for automotive low headlights and parameters affecting visibility in the night traffic area are described.

The first part of the practical work contains a description of the modeled situation in the program Dialux 4.13 with different types of low beam headlights. The second part of this diploma thesis includes the optimization of the designed system using public lighting, where two types of luminaires are selected for comparison in combination with a car equipped with different types of low beam headlights. From the situations designed in this way, the horizontal and vertical illuminations of the traffic space at different height levels are calculated. The results of the calculation are commented in the form of a partial evaluation.

Keywords:

Illuminance, Headlights, Lighting system, Dialux, Safety, Night traffic area

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratek.....	- 7 -
Seznam ilustrací.....	- 10 -
Seznam tabulek	- 12 -
Seznam vzorců.....	- 13 -
1 Úvod.....	- 14 -
2 Rozbor požadavků na veřejné osvětlení	- 15 -
2.1 Výběr a požadavky tříd osvětlení.....	- 15 -
2.1.1 Třídy osvětlení M pro motorovou dopravu	- 15 -
2.1.2 Třídy osvětlení C pro konfliktní oblasti	- 18 -
2.1.3 Třídy osvětlení P pro chodce a pomalou dopravu.....	- 20 -
2.2 Vymezení prostoru.....	- 21 -
2.3 Pozice měřených bodů	- 21 -
2.4 Světelné zdroje	- 23 -
2.4.1 Vysokotlaké sodíkové výbojky	- 23 -
2.4.2 Světelné diody – LED	- 23 -
2.4.3 Porovnání.....	- 24 -
2.5 Svítidla	- 25 -
2.5.1 Umístění.....	- 25 -
2.5.2 Křivky svítivosti.....	- 26 -
3 Rozbor požadavků na potkávací osvětlení automobilů	- 27 -
3.1 Rozdělení potkávacích světlometů	- 27 -
3.1.1 Halogenový světlomet.....	- 28 -
3.1.2 Xenonový světlomet.....	- 29 -
3.1.3 LED světlomet	- 30 -
3.1.4 Porovnání.....	- 31 -
3.2 Technické požadavky	- 31 -
3.3 Světelné požadavky.....	- 32 -
4 Rozbor požadavků na viditelnost v nočním dopravním prostoru	- 33 -
4.1 Zrakové vnímání.....	- 33 -
4.2 Kontrast	- 35 -
4.2.1 Stejný kontrast	- 35 -

4.2.2	Negativní kontrast.....	- 35 -
4.2.3	Pozitivní kontrast.....	- 35 -
4.3	Odrazné materiály.....	- 36 -
4.3.1	Fluorescenční materiály.....	- 37 -
4.3.2	Reflexní materiály.....	- 37 -
4.4	Dopravní značení	- 38 -
4.5	Oslnění.....	- 39 -
4.5.1	Prahový přírůstek	- 40 -
4.5.2	Omezení oslnění VO	- 41 -
4.5.3	Omezení oslnění světlometů	- 42 -
4.6	Rozhledové překážky.....	- 42 -
5	Modelování světelně-technických parametrů v nočním dopravním prostoru	- 44 -
	s automobilovými potkávacími světlomety	- 44 -
5.1	Popis automobilu	- 44 -
5.2	Návrh komunikace a výpočtu vodorovných rastrů	- 45 -
5.3	Výsledky a zhodnocení vodorovných rastrů	- 46 -
5.3.1	Horizontální osvětlenosti.....	- 47 -
5.3.2	Vertikální osvětlenosti 0,5 m nad komunikací	- 48 -
5.3.3	Vertikální osvětlenosti 1 m nad komunikací.....	- 49 -
5.3.4	Vertikální osvětlenosti 1,5 m nad komunikací	- 50 -
5.3.5	Vertikální osvětlenosti 2 m nad komunikací.....	- 51 -
5.3.6	Vertikální osvětlenosti 2,5 m nad komunikací	- 52 -
5.4	Návrh výpočtu kolmých rastrů.....	- 53 -
5.5	Výsledky a zhodnocení kolmých rastrů	- 53 -
5.5.1	Vertikální osvětlenosti 16 metrů od vozidla	- 54 -
5.5.2	Vertikální osvětlenosti 28 metrů od vozidla	- 55 -
5.5.3	Vertikální osvětlenosti 40 metrů od vozidla	- 56 -
5.5.4	Vertikální osvětlenosti 52 metrů od vozidla	- 57 -
5.5.5	Vertikální osvětlenosti 64 metrů od vozidla	- 58 -
5.5.6	Vertikální osvětlenosti 76 metrů od vozidla	- 59 -
6	Optimalizace nočního dopravního prostoru pomocí různých kombinací veřejného . osvětlení a automobilových potkávacích světlometů	- 60 -
6.1	Návrh veřejného osvětlení	- 60 -

6.1.1	Popis svítidel	- 61 -
6.1.2	Zatřídění komunikace	- 62 -
6.1.3	Horizontální a vertikální osvětlenosti VO	- 63 -
6.2	Návrh soustavy VO s LED světlořady.....	- 64 -
6.3	Výsledky a zhodnocení soustavy VO s LED světlořady	- 64 -
6.3.1	Horizontální a vertikální osvětlenosti VO s LED světlořady v 0,5 m	- 65 -
6.3.2	Vertikální osvětlenosti VO s LED světlořady v 1 a 1,5 m.....	- 66 -
6.3.3	Vertikální osvětlenosti VO s LED světlořady v 2 a 2,5 m.....	- 67 -
6.3.4	Vertikální osvětlenosti VO s LED světlořady 16 a 28 m od vozidla.....	- 68 -
6.3.5	Vertikální osvětlenosti VO s LED světlořady 40 a 52 m od vozidla.....	- 68 -
6.3.6	Vertikální osvětlenosti VO s LED světlořady 64 a 76 m od vozidla.....	- 69 -
6.4	Výsledky a zhodnocení různých typů světlořad s VO	- 69 -
6.4.1	Vertikální osvětlenosti LED VO se světlořady v 0,5 m	- 70 -
6.4.2	Vertikální osvětlenosti NAV VO se světlořady v 0,5 m	- 71 -
6.4.3	Vertikální osvětlenosti LED VO se světlořady v 1 m	- 72 -
6.4.4	Vertikální osvětlenosti NAV VO se světlořady v 1 m	- 73 -
7	Závěr	- 74 -
	Seznam použité literatury.....	- 76 -
	Příloha v IS EDISON.....	- 78 -

Seznam použitých symbolů a zkratek

Symboly	Veličiny	Jednotky
E	osvětlenost	(lx)
L	jas	(cd/m ²)
V _{WS}	součet váhových hodnot	(-)
V _W	váhová hodnota	(-)
U _o	celková rovnoměrnost jasu	(-)
U _l	podélná rovnoměrnost jasu	(-)
U _{OW}	celková rovnoměrnost jasu pro mokrý povrch	(-)
F _{TI}	prahový přírůstek	(%)
R _{EI}	osvětlenost okolí	(-)
Q _o	světlost povrchu vozovky	(cd/m ² ·lx)
V	rychlost	(km/h)
E _v	vertikální osvětlenost	(lx)
E _{v min}	minimální vertikální osvětlenost	(lx)
E _{sc min}	minimální poloválcová osvětlenost	(lx)
E _{min}	minimální osvětlenost	(lx)
W _L	šířka komunikace	(m)
D	rozteč mezi body	(m)
S	rozteč svítidel	(m)
N	počet kontrolních bodů	(-)
λ	vlnová délka	(nm)
T _c	náhradní teplota chromatičnosti	(K)
Ra	index podání barev	(-)
P	elektrický příkon	(W)
η	měrný světelný výkon	(lm/W)
ρ	střední činitel odrazu světla chodce	(-)
π	matematická konstanta – Ludolfovo číslo	(-)
S	plocha	(m ²)
I	svítivost	(cd)

GR	přímé oslnění	(-)
L_v	závojevý jas	(cd/m ²)
L_{ve}	ekvivalentní závojevý jas	(cd/m ²)
E_{hav}	průměrná horizontální osvětlenost prostoru	(lx)
Θ	úhel pohledu pozorovatele	(sr)
L_i	průměrný jas silnice	(cd/m ²)
A	průměr plochy	(m ²)
E_h	horizontální osvětlenost	(lx)

Zkratka	Význam
VO	Veřejné osvětlení
LED	Světelná dioda (light-emitting diode)
ČSN	Česká technická norma
PN	positive, negative
CNS	Centrální nervová soustava
BESIP	Bezpečnost silničního provozu
ECE	Evropská hospodářská komise
NAV	Vysokotlaká sodíková výbojka
UV	Ultrafialové

Seznam ilustrací

Obrázek 1.:	Vymezení prostoru.....	- 21 -
Obrázek 2.:	Pozice měřených bodů.....	- 21 -
Obrázek 3.:	Vysokotlaká sodíková výbojka	- 23 -
Obrázek 4.:	Popis LED	- 23 -
Obrázek 5.:	Porovnání spektrálních charakteristik	- 24 -
Obrázek 6.:	Umístění VO	- 25 -
Obrázek 7.:	Modus Parkled s vyzařovací charakteristikou do horního poloprostoru	- 26 -
Obrázek 8.:	Modus UL s širokou křivkou svítivosti	- 26 -
Obrázek 9.:	Asymetrické rozdělení světla na úrovni vozovky	- 27 -
Obrázek 10.:	Rozdělení světlometů	- 27 -
Obrázek 11.:	Halogenový zdroj	- 28 -
Obrázek 12.:	Projektorový světlomet	- 28 -
Obrázek 13.:	Reflektorový světlomet	- 28 -
Obrázek 14.:	Bi-xenonový modul	- 29 -
Obrázek 15.:	Xenonový světlomet	- 29 -
Obrázek 16.:	Světelný zdroj LED	- 30 -
Obrázek 17.:	LED světlomet	- 30 -
Obrázek 18.:	Porovnání světlometů z pozice řidiče z leva Halogen, Xenon, LED	- 31 -
Obrázek 19.:	Rozhraní pro měření světlometu	- 32 -
Obrázek 20.:	Popis zrakového snímání řidiče	- 34 -
Obrázek 21.:	Dráhy zastavení řidiče	- 34 -
Obrázek 22.:	Stejný jas chodce a pozadí.....	- 35 -
Obrázek 23.:	Negativní kontrast.....	- 35 -
Obrázek 24.:	Pozitivní kontrast	- 35 -
Obrázek 25.:	Viditelnost chodce s různou barvou oblečení	- 36 -
Obrázek 26.:	Obyčejná a fluorescenční značení.....	- 37 -
Obrázek 27.:	Uspořádání odrazných ploch	- 37 -
Obrázek 28.:	Dopravní značení	- 38 -
Obrázek 29.:	Úhel mezi směrem pohledu a směrem světla od svítidla.....	- 40 -
Obrázek 30.:	Porovnání normálního světlometu a LED matrix.....	- 42 -
Obrázek 31.:	Clony proti oslnění	- 42 -
Obrázek 32.:	Rozhled z vozidla na chodce	- 43 -
Obrázek 33.:	Namodelovaná situace v Dialuxu 4.13	- 44 -
Obrázek 34.:	Popis automobilu	- 44 -
Obrázek 35.:	Popis rozložených bodů.....	- 45 -
Obrázek 36.:	Vodorovný rastr	- 46 -
Obrázek 37.:	Horizontální osvětlenosti	- 47 -
Obrázek 38.:	Vertikální osvětlenosti 0,5 m nad komunikací.....	- 48 -
Obrázek 39.:	Vertikální osvětlenosti 1 m nad komunikací.....	- 49 -
Obrázek 40.:	Vertikální osvětlenosti 1,5 m nad komunikací.....	- 50 -

Obrázek 41.:	Vertikální osvětlenosti 2 m nad komunikací.....	- 51 -
Obrázek 42.:	Vertikální osvětlenosti 2,5 m nad komunikací.....	- 52 -
Obrázek 43.:	Kolmý rastr	- 53 -
Obrázek 44.:	Duplikované rastry hodnot.....	- 53 -
Obrázek 45.:	Vertikální osvětlenosti 16 m od vozidla	- 54 -
Obrázek 46.:	Vertikální osvětlenosti 28 m od vozidla	- 55 -
Obrázek 47.:	Vertikální osvětlenosti 40 m od vozidla	- 56 -
Obrázek 48.:	Vertikální osvětlenosti 52 m od vozidla	- 57 -
Obrázek 49.:	Vertikální osvětlenosti 64 m od vozidla	- 58 -
Obrázek 50.:	Vertikální osvětlenosti 76 m od vozidla	- 59 -
Obrázek 51.:	Ilustrační obrázek navržené situace.....	- 60 -
Obrázek 52.:	Rastr zatřídění VO	- 60 -
Obrázek 53.:	Parametry VO	- 61 -
Obrázek 54.:	Horizontální a vertikální osvětlenost VO v 1 m.....	- 63 -
Obrázek 55.:	Rozmístění VO s kolmými rastry	- 64 -
Obrázek 56.:	Rozmístění VO s rastrem horizontální a vertikální osvětlenosti	- 64 -
Obrázek 57.:	Horizontální a vertikální osvětlenosti VO s LED světlo­mety v 0,5 m.....	- 65 -
Obrázek 58.:	Vertikální osvětlenosti VO s LED světlo­mety v 1 a 1,5 m	- 66 -
Obrázek 59.:	Vertikální osvětlenosti VO s LED světlo­mety v 2 a 2,5 m	- 67 -
Obrázek 60.:	Vertikální osvětlenosti VO s LED světlo­mety 16 a 28 m od vozidla	- 68 -
Obrázek 61.:	Vertikální osvětlenosti VO s LED světlo­mety 40 a 52 m od vozidla	- 68 -
Obrázek 62.:	Vertikální osvětlenosti VO s LED světlo­mety 64 a 76 m od vozidla	- 69 -
Obrázek 63.:	Ilustrační obrázek VO a automobilu s nepravými barvami	- 69 -
Obrázek 64.:	Vertikální osvětlenosti LED VO se světlo­mety v 0,5 m.....	- 70 -
Obrázek 65.:	Vertikální osvětlenosti NAV VO se světlo­mety v 0,5 m.....	- 71 -
Obrázek 66.:	Vertikální osvětlenosti LED VO se světlo­mety v 1 m.....	- 72 -
Obrázek 67.:	Vertikální osvětlenosti NAV VO se světlo­mety v 1 m.....	- 73 -

Seznam tabulek

Tabulka 1: Zatřídění komunikace M	16 -
Tabulka 2: Třídy komunikace M	17 -
Tabulka 3: Třídy podle světlosti povrchu vozovky	18 -
Tabulka 4: Zatřídění komunikace C	19 -
Tabulka 5: Třídy komunikace C	19 -
Tabulka 6: Zatřídění komunikace P	20 -
Tabulka 7: Třídy komunikace P	20 -
Tabulka 8: Porovnání parametrů světelných zdrojů	24 -
Tabulka 9: Požadavky osvětlenosti potkávacích světlometů	32 -
Tabulka 10: Třídy oslnění C a P	40 -
Tabulka 11: Třídy oslnění	41 -
Tabulka 12: Třídy clonění	41 -
Tabulka 13: Rozhledové poměry	43 -
Tabulka 14: Horizontální osvětlenosti v pravém jízdním pruhu	47 -
Tabulka 15: Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve výšce 0,5 m	48 -
Tabulka 16: Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve výšce 1 m	49 -
Tabulka 17: Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve výšce 1,5 m	50 -
Tabulka 18: Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve výšce 2 m	51 -
Tabulka 19: Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve výšce 2,5 m	52 -
Tabulka 20: Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve vzdálenosti 16 m	54 -
Tabulka 21: Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve vzdálenosti 28 m	55 -
Tabulka 22: Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve vzdálenosti 40 m	56 -
Tabulka 23: Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve vzdálenosti 52 m	57 -
Tabulka 24: Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve vzdálenosti 64 m	58 -
Tabulka 25: Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve vzdálenosti 76 m	59 -
Tabulka 26: Vypočtené hodnoty jasů komunikace s NAV VO	62 -
Tabulka 27: Vypočtené hodnoty jasů komunikace s LED VO	62 -
Tabulka 28: Vypočtené hodnoty osvětlenosti doplňkových prostor	62 -
Tabulka 29: E_h a E_v levého doplňkového prostoru VO s LED světlomety v 0,5 m	65 -
Tabulka 30: E_v levého doplňkového prostoru VO s LED světlomety v 1 a 1,5 m	66 -
Tabulka 31: E_v levého doplňkového prostoru VO s LED světlomety v 2 a 2,5 m	67 -
Tabulka 31: E_v levého doplňkového prostoru světlometů s LED VO v 0,5 m	70 -
Tabulka 32: E_v levého doplňkového prostoru světlometů s NAV VO v 0,5 m	71 -
Tabulka 33: E_v levého doplňkového prostoru světlometů s LED VO v 1 m	72 -
Tabulka 34: E_v levého doplňkového prostoru světlometů s NAV VO v 1 m	73 -

Seznam vzorců

(2.1) Třída osvětlení M	- 15 -
(2.2) Třída osvětlení C	- 18 -
(2.3) Třída osvětlení P	- 20 -
(2.4) Podelný směr měřících polí	- 22 -
(2.5) Příčný směr měřících polí	- 22 -
(4.1) Odraznost oděvu chodce	- 36 -
(4.2) Přímé oslnění svítidel GR.....	- 39 -
(4.3) Závojevý jas	- 39 -
(4.4) Ekvivaletní závojevý jas.....	- 39 -
(4.5) Prahový přírůstek.....	- 40 -
(4.6) Součinitel oslnění.....	- 41 -

1 Úvod

Na pozemních komunikacích se neustále setkáváme se situacemi, kdy řidič není schopen včas reagovat na vzniklou překážku nebo na chodce v prostoru vozovky a vznikají tímto velmi tragické nehody. Zpožděná reakce řidiče není ovlivňována například jen sníženou pozorností, ale dalšími možnými faktory. Pokud ovšem vezmeme v potaz vozidlo při noční jízdě, hraje zde jednu z hlavních rolí, jak světlomety vozidla v daných situacích kvalitně osvětlují komunikace a její doplňkové prostory. Pojem kvalitně osvětlená komunikace předpokládá, že řidič má vzhledem k dovolené rychlosti komunikace dostatečně viditelný prostor před vozidlem na to, aby dokázal včas reagovat na předměty vyskytující se v jeho zorném poli. V dnešní době moderních světlometů a veřejného osvětlení bychom snad už neměli pochybovat o jejich precizním zpracování, tak aby řidič měl co nejlepší informace o dění na komunikaci před ním. Zde nastává otázka, zda je tomu opravdu tak. Tato diplomová práce pomůže nastínit, jak vypadá ona distribuce světelného toku ve formě osvětlenosti komunikace před vozidlem.

V rámci teoretické části je popsáno zatřídění komunikací, doplňkových prostor a jejich úrovně podle normy ČSN EN 13201. Dále je vysvětlena problematika navržení samotného veřejného osvětlení a vymezení bodů pro výpočet či měření osvětlovací soustavy. Poté jsou rozebrány typy svítidel a jejich umístění. Velkou roli v této práci hrají i světlomety a jejich zdroje, které jsou taktéž specifikovány. V neposlední řadě jsou popsány parametry ovlivňující viditelnost nejen chodců, ale i jiných předmětů vyskytujících se na pozemní komunikaci jako jsou například dopravní značení. Je nutné vyzdvihnout i vlivy, které nemalou částí ovlivňují viditelnost na komunikaci, kontrast chodce a pozadí, oslnění nebo rozhledové překážky řidiče.

V praktické části diplomové práce je vytvořen model silnice s reálnými parametry v programu Dialux 4.13, do kterého je v první části zasazen model automobilu s různými typy potkávacích světlometů. Pro další část diplomové práce je do takto navržené situace vloženo veřejné osvětlení se dvěma různými světelnými zdroji a LED světlomety. Jako poslední část modelování jsou vytvořeny situace s automobilem osazeným různými druhy světlometů v kombinaci s LED veřejným osvětlením a poté s osvětlením vysokotlakými sodíkovými výbojkami. Podle normy jsou vytvořeny výpočtové body horizontální a vertikální osvětlenosti rozdělené na komunikaci a doplňkové prostory.

Pro porovnání osvětlenosti jednotlivých druhů potkávacích světlometu a veřejného osvětlení jsou vytvořeny obrysové grafy v různých výškových úrovních, které jsou po částech zhodnoceny. K podrobnějšímu hodnocení levého doplňkového prostoru je ke každému grafu připojena tabulka s hodnotami osvětlenosti do vzdálenosti 28 metrů, která odpovídá nejkratší možné dráze zastavení vozidla na suché vozovce.

2 Rozbor požadavků na veřejné osvětlení

Nejdůležitějším cílem veřejného osvětlení je zajištění a zlepšení bezpečnosti na pozemních komunikacích po setmění. Správně navržená soustava veřejného osvětlení pomáhá všem účastníkům pozemních komunikací rozeznávat osoby, zdroje možného nebezpečí nebo různé typy překážek. Díky správnému návrhu veřejného osvětlení můžeme docílit včasné reakce účastníků provozu, a tudíž snížení vážných dopravních nehod, ke kterým dochází hlavně po setmění.

Je důležité postupovat ve přesném sledu stanovených kroků, a to za účelem zajištění co nejobjektivnějšího výsledku. Kvalitativní kritéria pro veřejné osvětlení jsou určena podle normy ČSN EN 13201 s názvem Osvětlení pozemních komunikací a jsou popsána níže v této kapitole. [1]

Po zatřídění komunikace je důležité splnit všechna ustanovení požadavků patřící pod danou třídu komunikace podle normy ČSN 13201-2. [3]

2.1 Výběr a požadavky tříd osvětlení

Výběrem třídy osvětlení se zabývá norma ČSN CEN/TR 13201-1: Návod pro výběr tříd osvětlení. Jde o technickou zprávu, která obsahuje popis parametrů určených pro definování všech situací, ke kterým může na pozemních komunikacích dojít. Norma stanovuje kvalitativní i kvantitativní požadavky na osvětlení. [2]

Mezi parametry, podle nichž jsou stanovovány různé třídy patří návrhová rychlost, intenzita dopravy, hustota provozu, skladba dopravního proudu, geometrické uspořádání komunikace a vzhled okolního prostředí. [2]

2.1.1 Třídy osvětlení M pro motorovou dopravu

Tyto třídy osvětlení jsou určeny pro motorové vozidla na dopravních pozemních komunikacích. Použití konkrétní třídy závisí taky na funkci pozemní komunikace.

Pro určení třídy osvětlení M se nejprve stanoví součet váhových hodnot V_{ws} jednotlivých parametrů V_w v dané situaci. Číslo třídy osvětlení M je pak dáno vztahem:

$$M=6-V_{ws} \quad (2.1)$$

Podle výběru daných váhových hodnot v tabulce 1 a následného výpočtu se určí číslo třídy osvětlení M v rozmezí od 1 do 6. Pokud je konečné číslo třídy osvětlení M menší nebo rovno nule, používá se třída osvětlení M1. [2]

Tabulka 1.: Zatřídění komunikace M [2]

Parametr	Možnosti	Popis ^a		Váhová hodnota V_w^a
Návrhová rychlost nebo dovolená rychlost	Velmi vysoká	$v \geq 100$ km/h		2
	Vysoká	$70 < v < 100$ km/h		1
	Střední	$40 < v \leq 70$ km/h		-1
	Nízká	$v \leq 40$ km/h		-2
Intenzita dopravy		Dálnice, vícepruhové pozemní komunikace	Dvoupruhové pozemní komunikace	
	Vysoká	> 65 % maximální kapacity	> 45 % maximální kapacity	1
	Střední	35 %–65 % maximální kapacity	15 %–45 % maximální kapacity	0
	Nízká	< 35 % maximální kapacity	< 15 % maximální kapacity	-1
Skladba dopravního proudu	Smišená s vysokým podílem nemotorové dopravy			2
	Smišená			1
	Pouze motorová			0
Směrově rozdělená komunikace	Ne			1
	Ano			0
Hustota křižovatek		Úrovňové křižovatky (počet/km)	Mimoúrovňové křižovatky, vzdálenost mezi mosty (km)	
	Vysoká	> 3	< 3	1
	Střední	≤ 3	≥ 3	0
Parkující vozidla	Vyskytují se			1
	Nevyskytují se			0
Jasnost okolí	Vysoká	Výlohy, reklamní plochy, sportoviště, nádraží a skladové areály		1
	Střední	Běžná situace		0
	Nízká			-1
Náročnost navigace	Vysoká			2
	Střední			1
	Nízká			0

U komunikace třídy M je tedy nutné, aby byla splněna nejen minimální průměrná hodnota jasu povrchu vozovky ale i další kritéria jako minimální celková rovnoměrnost jasu povrchu vozovky, minimální rovnoměrnost jasu jízdních pruhů a maximální úroveň oslnění. Dále je také vyžadováno i zajištění kvalitní osvětlenosti bezprostředního okolí komunikace. [3]

V tabulce 2 jsou popsány důležité parametry k zařazení komunikace.

Tabulka 2.: Třídy komunikace M [3]

Třída	Jas suchého a mokrého povrchu jízdního pásu pozemní komunikace				Omezující oslnění	Osvětlení okolí
	Suchý povrch			Mokrý povrch	Suchý povrch	Suchý povrch
	\bar{L} (cd·m ⁻²) (minimální udržovaná hodnota)	U_o (–) (minimální hodnota)	U_l (–) ^a (minimální hodnota)	U_{ow} (–) ^b (minimální hodnota)	f_{T1} (%) ^c (maximální hodnota)	R_{ei} (–) ^d (minimální hodnota)
M1	2,00	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M2	1,50	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M3	1,00	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M4	0,75	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M5	0,50	0,35	0,40	0,15	15	0,30
M6	0,30	0,35	0,40	0,15	20	0,30

Průměrný jas L vyjadřuje celkovou hodnotu jasu, která působí na zrakový výkon řidiče. Pokud se na pozemní komunikaci vyskytuje nižší úroveň osvětlení, zrakový výkon řidiče se úměrně zvyšuje se stoupající hodnotou jasu. S úrovní jasu se zvyšuje i kontrastní citlivost a zrakové ostrosti.

Celková rovnoměrnost U_o vyjadřuje, jak slouží povrch pozemní komunikace jako pozadí pro dopravní značení, předměty a pro ostatní uživatele pozemní komunikace.

Podélná rovnoměrnost U_l je měřítkem rozlišitelnosti opakujících se vzorů tmavých a světlých polí na povrchu pozemní komunikace. Tato rovnoměrnost je hlavně důležitá při dlouhých nepřerušovaných úsecích komunikace.

U_{ow} je kritérium pro mokré vozovky. Je možné použití s požadavky pro suché vozovky.

Prahový přírůstek F_{T1} je v této práci podrobně vysvětlen na straně 37.

R_{ei} je kritérium pro osvětlenost okolí, které je použito jen tehdy, kde k jízdnímu pruhu nepřiléhají dopravní prostory s vlastními požadavky na osvětlení. Uvedené hodnoty jsou orientační a je možné je změnit tam kde se vyskytují jiné národní nebo místní požadavky na osvětlení. [3]

2.1.2 Třídy osvětlení C pro konfliktní oblasti

Třídy osvětlení C jsou používány pro konfliktní oblasti, kde se proudy vozidel kříží, nebo tam kde může nastat zvýšený počet chodců, cyklistů nebo dalších účastníků pozemní komunikace. Mezi tyto oblasti patří například křižovatky, kruhové objezdy, oblasti, kde se zužují jízdní pruhy a další komunikace, kde může hrozit zvýšené riziko střetu vozidla s jinými účastníky provozu.

V konfliktních oblastech je jas hlavním hodnotícím kritériem. Při krátké pozorovací vzdálenosti není možné použití jasu, v tomto případě se, jako hodnotící kritérium používá osvětlenost. Vztah mezi jasnem a horizontální osvětleností je vztažen na světlost povrchu vozovky Q_0 .

Třídy osvětlení C jsou použity pro stejné uživatele jako třídy osvětlení M, tudíž je možné stanovení třídy osvětlení podle tabulky 3. V prvním řádku je určena třída osvětlení M z komunikací navazujících na řešenou konfliktní oblast. Doporučuje se vyšší třída osvětlenosti konfliktní oblasti než třída osvětlenosti navazující komunikace. [2]

Tabulka 3: Třídy podle světlosti povrchu vozovky [2]

Třída osvětlení M			M1	M2	M3	M4	M5	M6
Třída osvětlení C pro $Q_0 \leq 0,05 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$			C0	C1	C2	C3	C4	C5
Třída osvětlení C pro $0,05 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1} < Q_0 \leq 0,08 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$		C0	C1	C2	C3	C4	C5	C5
Třída osvětlení C pro $Q_0 > 0,09 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C5	C5

Pro centra měst, obcí a oblasti se zvláštními požadavky nebo pozemní komunikace je nutné ke stanovení třídy osvětlenosti C použít tabulku 4. Tabulka se používá i v případě, kdy pozemní komunikace, která navazuje na konfliktní oblast, není osvětlena. [2]

Pro použití a určení třídy se nejdříve stanoví součet váhových hodnot V_{ws} jednotlivých parametrů V_w . Následně se třída osvětlení C stanoví vztahem:

$$C=6-V_{ws} \quad (2.2)$$

Na základě zvolení těchto odpovídajících váhových hodnot bude zvolena třída osvětlení hodnot od 0 do 5. V případě, kdy se součet váhových hodnot bude rovnat nule, bude rovna hodnota V_{ws} jedné. Pokud bude hodnota třídy osvětlení C menší než nula, stanoví se třída osvětlení jako C0. [2]

Tabulka 4.: Zatřídění komunikace C [2]

Parametr	Možnosti	Popis ^a	Váhová hodnota V_w^a
Návrhová rychlost nebo dovolená rychlost	Velmi vysoká	$v \geq 100$ km/h	3
	Vysoká	$70 < v < 100$ km/h	2
	Střední	$40 < v \leq 70$ km/h	0
	Nizká	$v \leq 40$ km/h	-1
Intenzita dopravy	Vysoká		1
	Střední		0
	Nizká		-1
Skladba dopravního proudu	Smíšená s vysokým podílem nemotorové dopravy		2
	Smíšená		1
	Pouze motorová		0
Směrově rozdělená komunikace	Ne		1
	Ano		0
Parkující vozidla	Vyskytují se		1
	Nevyskytují se		0
Jasnost okolí	Vysoká	Výlohy, reklamní plochy, sportoviště, nádražní a skladové areály	1
	Střední	Běžná situace	0
	Nizká		-1
Náročnost navigace	Vysoká		2
	Střední		1
	Nizká		0

Po zařazení parametrů do určité třídy je nutné dodržet požadavky na minimální průměrnou osvětlenost a celkovou rovnoměrnost osvětlenosti podle tabulky 5.

Tabulka 5.: Třídy komunikace C [3]

Třída	Vodorovná osvětlenost	
	\bar{E} (lx) (minimální udržovaná hodnota)	U_o (-) (minimální hodnota)
C0	50	0,40
C1	30	0,40
C2	20,0	0,40
C3	15,0	0,40
C4	10,0	0,40
C5	7,50	0,40

2.1.3 Třídy osvětlení P pro chodce a pomalou dopravu

Tento typ třídy je z velké části určen pro cyklisty a chodce, kteří se vyskytují na chodnících a cyklostezkách. Třídy P je možné použít i pro řidiče, kteří jedou nižší rychlostí v obytných zónách. Chodci a řidiči se pohybují různou rychlostí, tudíž pro ně platí různé požadavky na zrakové úkoly. I tato úvaha je zahrnuta ve výběru tříd osvětlenosti P. [2]

Obdobně jako u ostatních výše popsaných tříd je stanovena hodnota P ze vztahu:

$$P=6-V_{WS} \quad (2.3)$$

Platí zde stejná pravidla jako u předchozích tříd. Pokud nastane situace, kdy výsledné číslo osvětlení P bude rovno nule, bude použita třída osvětlení P1. [2]

Tabulka 6.: Zatřídění komunikace P [2]

Parametr	Možnosti	Popis ^a	Váhová hodnota V_w^a
Rychlost pohybu	Nizká	$v \leq 40$ km/h	1
	Velmi nízká (rychlost chůze)	Velmi nízká, rychlost chůze	0
Intenzita provozu	Vysoká		1
	Střední		0
	Nizká		-1
Skladba dopravního proudu	Chodci, cyklisté a motorová doprava		2
	Chodci a motorová doprava		1
	Pouze chodci a cyklisté		1
	Pouze chodci		0
	Pouze cyklisté		0
Parkující vozidla	Vyskytují se		1
	Nevyskytují se		0
Jasnost okolí	Vysoká	Výlohy, reklamní plochy, sportoviště, nádraží a skladové areály	1
	Střední	Běžná situace	0
	Nizká		-1
Rozpoznání obličejů	Nutné		Dodatečné požadavky ^b
	Není nutné		Žádné dodatečné požadavky

Jako v předchozích případech je nutné podle tabulky 7 dodržení minimální průměrné osvětlenosti E_{\min} a udržované osvětlenosti E . V případě, že je relevantní rozpoznání obličejů, jsou vyžadována i další kritéria pro minimální vertikální osvětlenost $E_{v\min}$ a poloválcová osvětlenost $E_{sc\min}$.

[3]

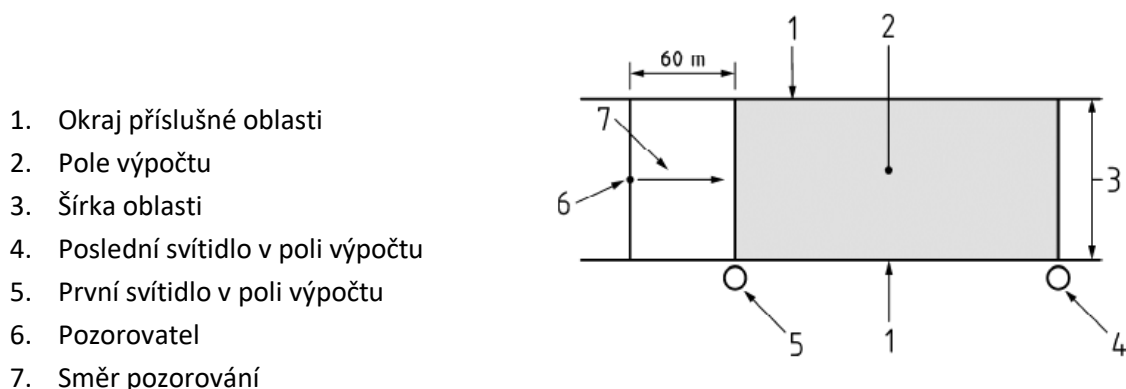
Tabulka 7.: Třídy komunikace P [3]

Třída	Vodorovná osvětlenost		Doplňující parametry při požadavku na rozpoznání obličejů	
	\bar{E} (lx) ^a (minimální udržovaná hodnota)	E_{\min} (lx) (udržovaná hodnota)	$E_{v,\min}$ (lx) (udržovaná hodnota)	$E_{sc,\min}$ (lx) (udržovaná hodnota)
P1	15,0	3,00	5,0	5,0
P2	10,0	2,00	3,0	2,0
P3	7,50	1,50	2,5	1,5
P4	5,00	1,00	1,5	1,0
P5	3,00	0,60	1,0	0,6
P6	2,00	0,40	0,6	0,2
P7	neurčeno	neurčeno		

2.2 Vymezení prostoru

V podélném směru příslušné oblasti musí pole výpočtu obsahovat dvě svítidla ve stejné řadě. Pokud existuje více než jedna řada svítidel a liší se jejich vzájemná vzdálenost, volí se pro měření úseku svítidla s největší roztečí, tím je možné říct, že postup nemusí poskytnout přesné jasy pro celou osvětlovací soustavu.

Je také nutné podotknout, že výpočty jsou prováděny pro splnění požadavků normy ČSN EN 13201-2, proto při posuzování světelně technických parametrů vybíráme rozteč svítidel s nejhorsími parametry. Popis posuzované oblasti je popsán na obrázku 1. [4]



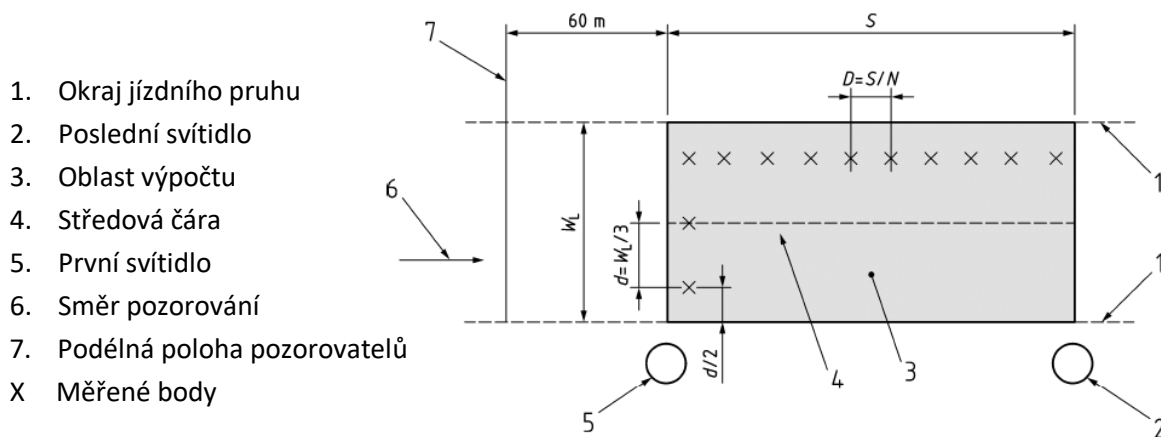
Obrázek 1.: Vymezení prostoru [4]

2.3 Pozice měřených bodů

Je vytvořen tzv. rastr hodnot, ve kterém jsou umístěny měřené body ve srovnávací rovině do příčných a podélných řad.

Pro horizontální osvětlenost jsou body umístěny na úrovni vozovky a dále se hodnotí vertikální osvětlenost z obou směrů jízdy, kdy je pozice měřených bodů umístěna ve výšce 1 m nad úrovní vozovky.

Body výpočtu musí být v poli rovnoměrně rozmístěny, jak je znázorněno na obrázku 2. První a poslední příčná řada měřených bodů je rozmístěna v polovině podélné vzdálenosti mezi předposledními body a hranicí měřeného pole. [4]



Obrázek 2.: Pozice měřených bodů [4]

Síť kontrolních bodů se volí tak, aby byly rovnoměrně rozloženy v měřícím poli.

Jejich počet je dán vztahy:

Podélný směr:

$$D = \frac{S}{N} \quad (2.4)$$

Kde:

D – rozteč mezi body (m)

S – rozteč svítidel (m)

N – počet kontrolních bodů (-)

Příčný směr:

$$d = \frac{W_L}{n} \quad (2.5)$$

Kde:

d – rozteč mezi body (m)

W_L – šířka komunikace (m)

N – počet bodů v příčném směru (-)

Vzdálenost bodů od okrajů v oblasti je v podélném směru $D/2$ a v příčném $d/2$.

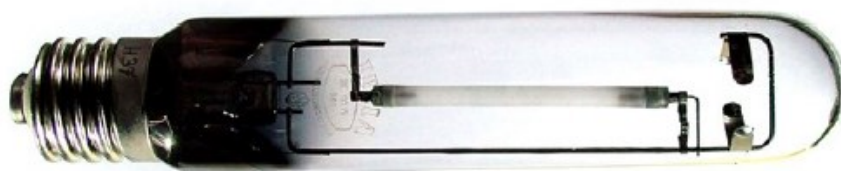
[4]

2.4 Světelné zdroje

Nejdůležitější částí veřejného osvětlení jsou světelné zdroje, které mění elektrickou energii na světlo. Zdroje optického záření, jinak řečeno zdroje světla, jsou objekty, ve kterých se transformuje hlavně elektrická energie do formy elektromagnetického záření. Toto záření je z části viditelné v oblasti elektromagnetického spektra. Správné zvolení světelného zdroje nejen že ovlivňuje kvalitu vyzařovaného světla, ale i energetickou náročnost nebo cenu. Pro tuto práci jsou zvoleny dva nejčastější typy světelných zdrojů pro osvětlování pozemních komunikací, a to jsou starší, ale stále používané, vysokotlaké sodíkové výbojky a LED zdroje. [5]

2.4.1 Vysokotlaké sodíkové výbojky

U těchto světelných zdrojů se světlo při výboji generuje v párách sodíku a rtuti s tlakem až 60kPa. Měrný světelný výkon dosahuje až 120lm/W se střední dobou života, která může být i dokonce větší než 25 000 hodin. Oproti LED zdrojům je jejich velkou nevýhodou index podání barev, který dosahuje jen hodnoty $R_a=25$. I když jsou LED zdroje na vzestupu, stále se osvětluje těmito zdroji velké množství pozemních komunikací. [6]



Obrázek 3.: Vysokotlaká sodíková výbojka [5]

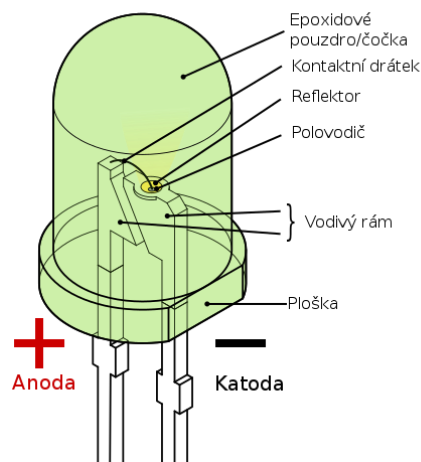
2.4.2 Světelné diody – LED

LED diody využívají princip polovodičového PN přechodu, ve kterém dochází při průchodu proudem k rekombinaci elektronů a děr. Při tomto jevu se uvolňuje energie ve formě fotonů nebo se absorbuje v krystalové mřížce, což ovlivňuje teplotu polovodiče.

Kladný náboj je převáděn přes anodu LED diody do vlákna. Další část diody je zapojená k vodivému rámu vedoucímu z katody k zápornému pólu. Epoxidová pryskyřice je navržena tak, aby chránila PN přechod před vnějšími vlivy, a přitom propouštěla co největší množství světla. Na obrázku 4 jsou popsány základní prvky diody.

Závislost proudu na napětí má stejný průběh jako běžná polovodičová dioda. Rozdíl je ovšem u koncových napětí v propustném a závěrném směru.

Pokud se zvyšuje napětí od nuly, tak se z počátku proud vůbec nemění a chová se jako nevodivá dioda. Od určitého napětí se dioda otevře a na menší zvýšení napětí reaguje rázovým navýšením proudu, proto je lepší k napájení diod používat zdroj proudu. [7]



Obrázek 4.: Popis LED [7]

2.4.3 Porovnání

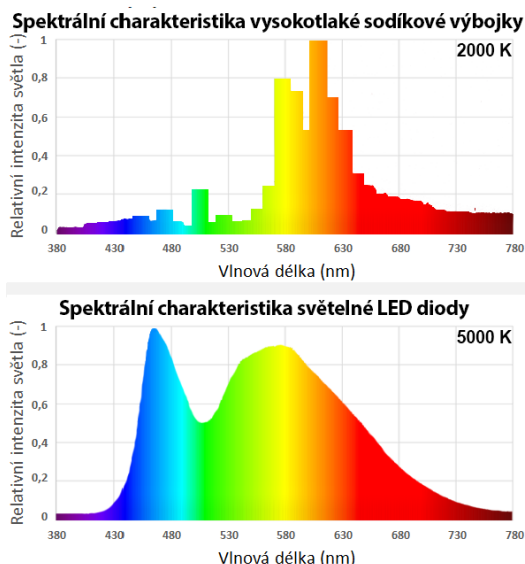
Pokud porovnáme výše zmíněné zdroje, má LED osvětlení značnou převahu nejen ve větším měrném světelném výkonu ale i například životnosti.

Další věc, ve které předčí vysokotlaké sodíkové výbojky je index podání barev, který má podstatně větší. Problém u výbojek je, že vyzařují jen ve velmi úzkém spektru, konkrétně 598 nm, což zapříčiní vyzařování jen žlutých barev.

Z hlediska bezpečnosti je nutné připomenout vliv směřování světelného toku. Díky této vlastnosti je u LED možné usměrnit světelný tok tam, kam opravdu potřebujeme, bez přebytkého oslňování nebo vzniku rušivého světla.

Oproti skvělým vlastnostem má ovšem LED technologie i stinné stránky, a to hlavně odvod tepla z PN přechodu. Z tohoto důvodu nemůžeme dosáhnout větších hodnot příkonu a pohybujeme se v hodnotách několika wattů. S tímto problémem souvisí snižování životnosti zvyšující se teplotou přechodu.

Nutno podotknout, že i když mají LED zdroje své výhody, často hraje velkou roli cena osvětlení. V tomto případě se není čemu divit, že i v dnešní době jsou zde stále ve velké části používány vysokotlaké sodíkové výbojky. [8]



Obrázek 5.: Porovnání spektrálních charakteristik [8]

Tabulka 8.: Porovnání parametrů světelných zdrojů [8]

	Vysokotlaká sodíková výbojka (NAV)	Světelná dioda (LED)
Měrný světelný výkon (lm/W)	70 - 120	více než 150
Střední doba života (h)	25 000	50 000
Teplota chromatičnosti (K)	2 000	volitelné
Index podání barev (-)	25	70 - 90
Příkon (W)	50 - 1000	1 - 20

2.5 Svítidla

Svítidla rozdělují, mění nebo filtrují světlo vyzařování jedním nebo více světelnými zdroji a jsou v nich zahrnuty další díly, které jsou potřeba k upevnění nebo ochraně světelných zdrojů. Pomocné obvody a prostředky pro připojení k síti jsou také součástí některých svítidel. Světelné součásti jako jsou difuzor, refraktor a reflektor neboli optika slouží k usměrnění nebo rozložení světelného toku světelných zdrojů a také k omezení oslnění. Většinou je použita kombinace těchto tří součástí.

Jednou z dalších funkcí svítidel je filtrování nežádoucích částí spektru vyzařovaného světelným zdrojem. Dále slouží například k upevnění světelného zdroje a dalších světelných částí nebo i k utěsnění proti vniknutí prachu a vody. [7]

2.5.1 Umístění

Uspořádání a výška stožárů závisí na mnoha faktorech, jako například na geometrii pozemní komunikace, podmínkách povrchu komunikace, fyzických vlastnostech stožáru, požadavcích životního prostředí, charakteristice prostředí a v neposlední řadě i na estetice a cíli osvětlení.

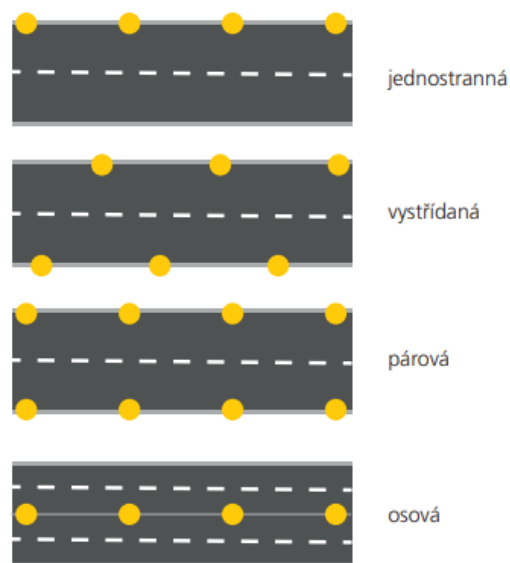
Rozeznáváme několik typů uspořádání svítidel. [1]

Jednostranné – je dovolená šířka komunikace až do montážní výšky svítidla. Ovšem nevýhodou oproti ostatním uspořádáním svítidel je nerovnoměrnost jasu povrchu komunikace v obou pruzích.

Vystřídané – šířka komunikace může být až 1,5x větší než montážní výška svítidla. Jednou z devíz je nízká podélná rovnoměrnost jasu, která vytváří střídající světlejší a tmavší místa. Při vlhkém počasí je však tato varianta uspořádání výhodnější oproti jednostranné variantě.

Párové – v tomto případě může být šířka komunikace až 2,5krát větší než montážní výška svítidla. Pokud je uspořádání zvoleno pro pozemní komunikace se dvěma jízdními pruhy a středním dělicím pruhem, jehož šířka je alespoň 1/3 šířky jednoho jízdního pruhu nebo se ve středním dělicím pruhu vyskytují různé vizuální překážky, vzniká z párového uspořádání dvojité jednostranné a je třeba k němu takto přistupovat.

Osová – u tohoto uspořádání jsou svítidla zavěšena například na převisech přes komunikaci nebo mezi budovami, kdy šířka komunikace může být až dvakrát větší než montážní výška svítidla. Dalším způsobem mohou být dvě svítidla umístěna ve středu, kdy každé z nich osvětluje jiný jízdní pruh. U posledně zmíněného uspořádání je šířka komunikace stejná jako výška svítidel. Pokud střední dělicí pruh není příliš široký, toto uspořádání může pomoci k dostatečnému jasu povrchu komunikace u obou pruhů, čímž je možné říct, že je účinnější než párové uspořádání. [1]



Obrázek 6.: Umístění VO [1]

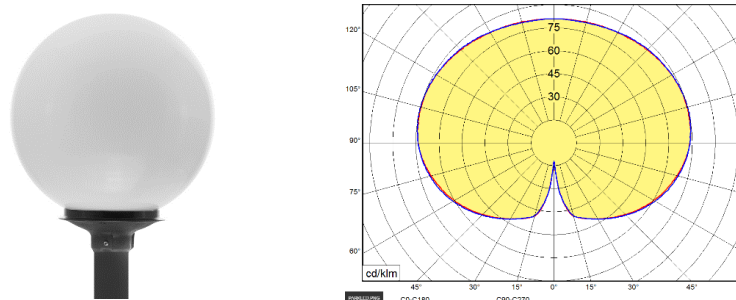
Přesné umístění a montážní výška svítidla je součástí procesu projektování a obvykle probíhá pomocí specializovaného softwaru jako například Dialux nebo Relux. Účelem není jen udržování minimálního jasu, ale i jeho minimální rovnoměrnosti, která souvisí s rozložením svítivosti svítidel instalovaných na pozemní komunikaci. [1]

2.5.2 Křivky svítivosti

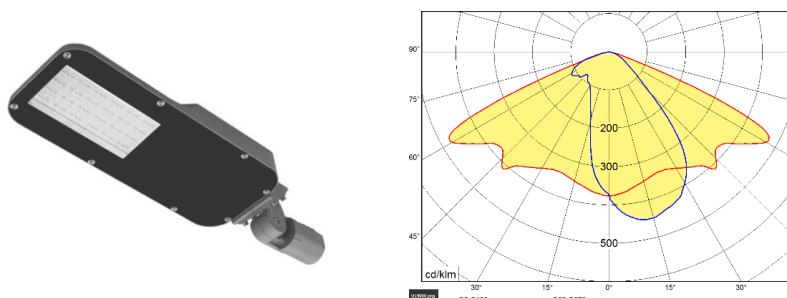
Jedná se o vynesení změřených hodnot všech bodů v prostoru pomocí vektorů, z něhož dostaneme prostorové rozložení zdroje. V praxi se používají jen různé typy řezů touto plochou. Nejčastěji se používá systém řezů C-y, kde je osa kolmá k hlavní vyzařovací ploše svítidla. Křivky svítivosti se standardně zaznamenávají pomocí polárních souřadnic, které pak představují šíření světelného toku. Rozeznáváme dva typy, a to symetrické a asymetrické.

Pro veřejné osvětlení používáme z větší části svítidla se symetrickou křivkou svítivosti. Dále se tyto křivky rozdělují na koncentrované, hluboké, široké, pološiroké a další. Vhodné jsou zejména křivky široké a pološiroké, které mají větší rozptyl, tudíž dosáhneme větší vertikální osvětlenosti, rovnoměrnosti a tím i lepší viditelnosti chodce nebo jiných předmětů vstupujících do vozovky.

Naopak velmi nežádoucí se stávají křivky svítivosti s vyzařovací charakteristikou do horního poloprostoru, protože nejen že způsobují světelné znečištění oblohy, ale jsou i velmi nevhodné. Svítidlo by mělo svítit jen tam, kde je opravdu potřeba. Pro porovnání jsou níže umístěny typy svítidel s křivkou svítivosti vyzařující do horního poloprostoru a s širokou křivkou svítivosti používanou pro osvětlování pozemních komunikací. [5]



Obrázek 7.: Modus Parkled s vyzařovací charakteristikou do horního poloprostoru [9]

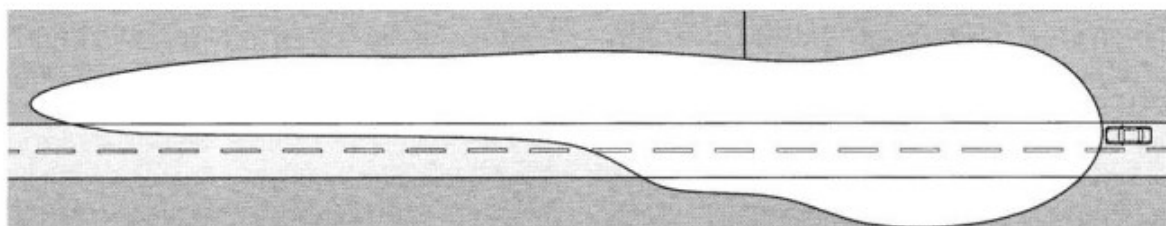


Obrázek 8.: Modus UL s širokou křivkou svítivosti [10]

3 Rozbor požadavků na potkávací osvětlení automobilů

V minulosti bylo pro osvětlování komunikace automobily používáno symetrické rozdělení světelného toku na vozovku, kdy oba světlomety vyzařovaly shodný světelný tok. Kvůli oslňování protijedoucích vozidel se začalo od roku 1957 používat nové asymetrické rozdělení světelného toku, kdy pro pravostranné řízení byla větší část světelného toku usměrněna na vlastní jízdní pruh a pravý doplňkový prostor. Nová opatření na rozdělení světelného toku svítidel způsobila zvyšující se jízdní komfort, a hlavně bezpečnost na nočních pozemních komunikacích. Jedním z nových opatření světlometů budoucnosti je, že by se měly při jízdě samovolně přizpůsobit situaci na vozovce a světelným parametrům. Ze statistik je možné vyčíst, že více než 40 % tragických dopravních nehod nastává v noci, i když je provoz daleko klidnější než při jízdě za bílého dne. Samozřejmě že není důležitá jen osvětlenost komunikace, ale roli hraje i lidský faktor, a to například nedání přednosti, nepřiměřená rychlost, či dokonce obsah alkoholu v krvi. [11]

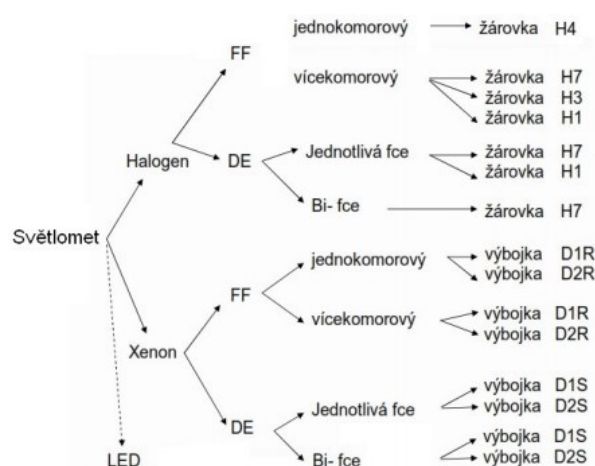
Na základě nařízení ECE R112 musí být světlomety testovány na různé parametry tak, aby splňovaly homologace a bylo je možné použít k běžnému používání v automobilech na pozemních komunikacích. [11]



Obrázek 9.: Asymetrické rozdělení světla na úrovni vozovky [11]

3.1 Rozdělení potkávacích světlometů

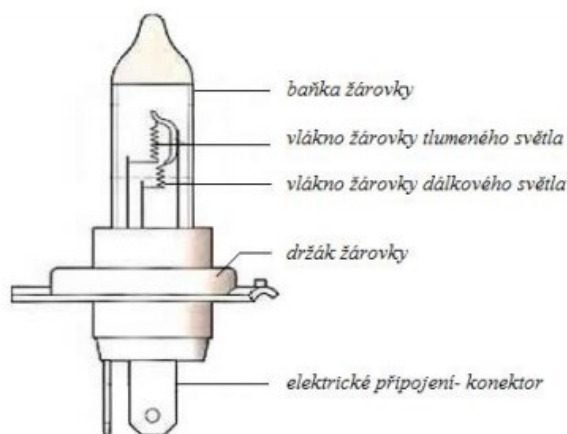
Jednotlivé optické a konstrukční systémy světlometů mohou být rozděleny podle typu použitého světelného zdroje. Je rozeznáváno několik světelných zdrojů pro osvětlení automobilů. Jedním z nejznámějších je halogenový světlomet, který je zároveň i nejpoužívanějším. Ten je možné rozdělovat podle typu modulu, a to na označení typu DE, kdy se používá trojdimenzionální elipsoid, nebo označení FF modulu tvarovaného pomocí volných ploch. Jako další neméně známé světlomety jsou xenonové, které se dělí stejnými způsobem, ale místo žárovky jsou použity výbojky. A v neposlední řadě LED světlomety, které se dostávají díky svým výhodám na první stupínky nejen v oblasti veřejného osvětlení, ale i automobilového průmyslu. [12]



Obrázek 10.: Rozdělení světlometů [12]

3.1.1 Halogenový světlomet

Světlomet s halogenovým zdrojem je pořád používán ve velkém množství vozidel. Zdroj funguje na principu průchodu proudu wolframovým vláknem jako u klasické žárovky používané ve veřejném osvětlení. V žárovce je většinou použit halogen ve formě plynu. Jako obal se používá křemičité sklo obohacené o oxidy titaničité, které blokují pronikající UV záření světelného zdroje.



Obrázek 11.: Halogenový zdroj [12]

Jedním z nejčastějších použití optických systémů halogenových světlometů jsou reflektorové a projektorové, ve kterých je ještě pro zručného člověka poměrně snadné vyměnit žárovku. U jiných zdrojů se dostane řidič do fáze, kdy musí vyměnit celý světlomet, tím se výměna stává nákladnější.

[12]

Parametry halogenového světlometu

Příkon: 55-65 W

Světelný tok: 1500-2000 lm

Měrný světelný výkon: 26 lm/W

Teplota chromatičnosti: 2900-3100 K

Životnost žárovky: 900 hod.

Značení žárovek: H1, H4, H7



Obrázek 12.: Projektorový světlomet [12]



Obrázek 13.: Reflektorový světlomet [12]

Jedna z výhod takto konstruovaných světlometů je použití více světlených funkcí, to znamená, že je možné světlometry používat jako dálková, potkávací i parkovací. Cenově jsou na tom velmi dobře nejen z hlediska snadné výměny světelného zdroje ale i jednodušší konstrukci reflektorových nebo projektorových optických systémů. Naopak jejich nevýhodou může být vyšší energetická náročnost v porovnání se získaným světelným tokem například vůči novým LED světlometům. Dále tu jsou další negativa, jako kratší životnost, kvůli které se zdroj může měnit až několikrát za dobu provozu samotného automobilu. V neposlední řadě je nutno zmínit

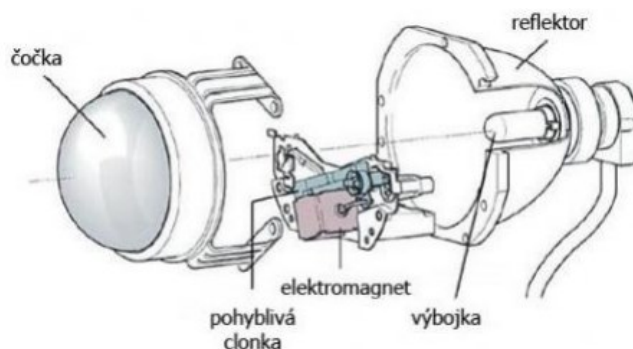
nedostatečnost barevných teplot denního světla oproti ostatním modernějším zdrojům, což způsobuje menší viditelnost a může tím pádem způsobit rychlejší únavu řidiče. [12]

3.1.2 Xenonový světlomet

V tomto typu světlometů vzniká světlo v řízeném výboji v plynné náplni mezi dvěma elektrodami. Aby bylo dosaženo dostatečného výboje, je potřeba dosáhnout vysokého napětí v rozmezí 18000-30000 V. Po výboji už světlomet jen pro samotnou práci potřebuje výkon 25 nebo 35 W. Složení inertního plynu poté ovlivňuje teplotu chromatičnosti elektrického oblouku uvnitř výbojky.

Pokud je řeč o klasických xenonových výbojkách, tak ty se používají jen jako potkávací světla a dálková jsou zajištěna zase klasickými halogenovými. Ale jestliže je světlomet vybaven xenonovými zdroji jak pro dálkové, tak potkávací světlomety, můžeme hovořit o bi-xenonových světlometech.

[12]



Obrázek 14.: Bi-xenonový modul [12]

Pro přepínání potkávacích a dálkových světél pomáhá clonka, která pomocí elektromagnetu propouští nebo blokuje světelný tok. V povinné výbavě automobilu, který je osazen těmito světlomety, je nutností použití ostřikovače, který je zabudovaný na přední masce auta nebo je přímo součástí světlometu. [12]

Parametry xenonového světlometu

Příkon: 25-35 W

Světelný tok: 1600-3500 lm

Měrný světelný výkon: 80-89 lm/W

Teplota chromatičnosti: 4000-4250 K

Životnost výbojky: 1500-3000 hod.

Značení výbojky: D (1, 2, 3, 5, 8) (S, R)

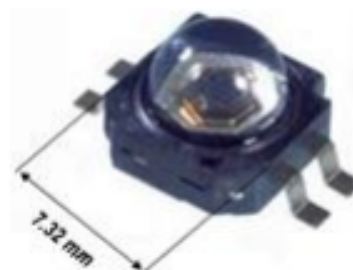


Obrázek 15.: Xenonový světlomet [12]

Hlavní výhody xenonových světlometů spočívají ve vhodnější teplotě chromatičnosti, která se blíží dennímu světlu a také v porovnání s halogenovými světlometry poskytují o 200 % více světelného toku. Dokonce mají tyto světelné zdroje větší životnost, ale v neprospěch hraje jejich cena. Kvůli zákonu stanovujícímu ostřikovací zařízení ke každému xenonovému světlometu je na autě další věc, co se může časem porouchat. Dále je nutné vybavit auto řídicí jednotkou a startérem. Ruční výměna světelného zdroje už není tak jednoduchá jako u halogenových žárovek a vzhledem k bezpečnosti je nutné provádět výměnu v servise. [12]

3.1.3 LED světlomet

Světlomet je osazen LED diodou principiálně stejnou, která se používá při jiných osvětleních. Jedná se tedy o několik polovodičových desek, které přetváří proud na světlo. Jedna z prvních vyrobených LED diod je zobrazena na obrázku 16. Čočka je sestavena z plastu a je připevněna přímo na diodu, tím nevzniká nutnost použití reflektoru. K usměrňování paprsku uvnitř čočky je využíváno jedinečné tvarování, při kterém dochází k usměrnění světelného toku v takovém přesném tvaru, jaký je pro danou situaci potřeba. [12]



Obrázek 16.: Světelný zdroj LED [12]

Parametry LED světlometu

Příkon: 20-50 W

Světelný tok max.: 250 lm/chip

Měrný světelný výkon: 186 a více lm/W

Teplota chromatičnosti: 6100 K

Životnost LED: 50 000-100 000 hod.

Značení: single chip, multi chip

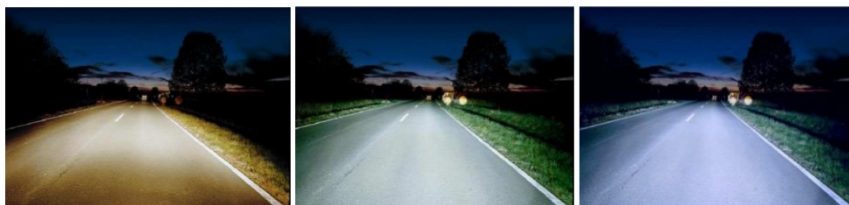


Obrázek 17.: LED světlomet [13]

Výhodou LED světlometů, i když mají oproti ostatním zdrojům větší světelný tok, je dokonce i nižší spotřeba elektrické energie. Také teplota chromatičnosti dosahuje přibližně stejné kvality jako denní světlo. Výrazně předčí životnost ostatních světlometů a díky malým rozměrům je možné vidět různé designové úpravy, které přispívají k nevšednímu vzhledu automobilu. I když se zdá, že LED světlometry jsou ideální zdrojem pro osvětlení automobilů, mají stále i své nevýhody. Kvůli polovodičovým součástkám jsou jako u VO závislé na teplotě. Při vyšších teplotách může dojít k přehřátí pouzdra a s tím spojenému zničení světelného zdroje. Stejně tak jako u xenonových světlometů je nutné pro přesahující hranici svítivosti 2000 lm použití zabudovaných ostřikovačů. Mezi další nevýhody je možné zařadit oslňování protijedoucích vozidel, citlivost na napájecí napětí nebo stále vyšší cenu. [12]

3.1.4 Porovnání

Na obrázku níže je znázorněno porovnání zmíněných světlometů. Pokud vezmeme světelné zdroje LED a xenon, tak oproti halogenu nejen že předčí svým kontrastem světla a tmy, ale také svým dosvitem, který je způsobem vyšším světelným tokem. Neméně důležitou roli hraje i lepší teplota chromatičnosti. Je jen otázkou času, kdy se stanou LED světlomety hlavními světelnými zdroji, které spatříme na pozemních komunikacích. [12]



Obrázek 18.: Porovnání světlometů z pozice řidiče zleva Halogen, Xenon, LED [12]

3.2 Technické požadavky

Aby světlomety mohly být použity pro běžný provoz, musí projít několika homologačními testy. Podle nařízení R112 musí světlomety splňovat všeobecné specifikace dané tímto dokumentem. Například musí být světlomety vyrobeny tak aby vibrace vozidla během jízdy nijak neovlivňovaly fotometrické vlastnosti a byla vytvořena dostatečná činnost v těchto podmínkách.

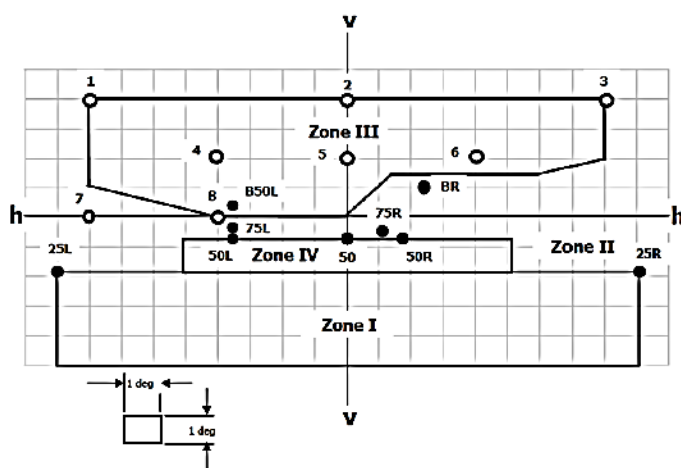
Světlomet musí mít specifikované vybavení, a to:

1. Homologovaný světelný zdroj
2. Konstrukce světlometu musí být taková, aby se dala zasadit jen v jedné poloze.
3. Celkový skutečný světelný tok LED modulů, které vytváří hlavní potkávací světlo, musí mít hodnotu světelného toku alespoň 1000 lm
4. V závislosti na pravostranném nebo levostranném řízení musí být světlomety upraveny například pomocí úhlového nastavení nebo optické jednotky tak, aby splňovaly zmíněný předpis.
5. Aby se zamezilo nadměrné změně fotometrických vlastností, musí být provedeny doplňkové zkoušky

Světlomet může být konstruován jak pro levostranné, tak pravostranné řízení. Pokud se tedy v tomto případě vozidlo chystá pro komunikaci s opačně orientovaným směrem jízdy, je nutné vytvořit opatření k ochraně proti oslnění dalších účastníků silničního provozu. Jako příklad můžeme uvést přesun automobilu z České republiky do Velké Británie. Takové opatření může být například zacinění vnější části rozptylového skla. [14]

3.3 Světelné požadavky

Provedení potkávacích světlometů musí být provedeno tak aby vytvářelo dostatečné množství osvětlenosti bez oslnění protijedoucích vozidel. Pro ČR a zbytek Evropské unie je platný předpis ECE, který definuje jednotlivé měřicí body pomocí tzv. rozhraní. V rozhraní jsou umístěny body pomocí úhlových stupňů na horizontální (h) a vertikální ose (v). Pro tuto práci je hlavní použití rozhraní pro pravostranné řízení, které je popsáno na obrázku 19. Aby se dosáhlo správného měření světlometu, musí se splnit několik požadavků. Nejprve musí být světlomet zaostřen na stěnu. Stěna musí být umístěna ve vzdálenosti 10 až 25 metrů od světlometu a kolmo k ose h-v. Aby se dosáhlo správného ověření nastavení rozhraní potkávacích světlometu, musí být stěna dostatečně široká. Pro měření svítivosti světlometů se používá fotoelektrický článek. [25][14]



Obrázek 19.: Rozhraní pro měření světlometu [25]

Podle znázorněného rozhraní byly vytvořeny body osvětlenosti. V žádné ze zón I, II, III a IV nesmí být odchylky osvětlenosti, které by způsobovaly špatnou viditelnost. V případě světlometu konstruovaného jak pro dálkové, tak potkávací světlo se měření svítivosti provádí ve stejném nastavení jako u potkávacího světlometu.

V tabulce 9 níže jsou popsány minimální hodnoty osvětlenosti potkávacích světlometů jednotlivých bodů pro pravostranný i levostranný provoz. [14]

Tabulka 9: Požadavky osvětlenosti potkávacích světlometů [14]

Bod na měřicí stěně		
světlometry pro pravostranný provoz	světlometry pro levostranný provoz	požadované osvětlení (lx)
BOD B 50 L	BOD B 50 R	$\leq 0,4$
BOD 75 R	BOD 75 L	≥ 6
BOD 75 L	BOD 75 R	≤ 12
BOD 50 L	BOD 50 R	≤ 15
BOD 50 R	BOD 50 L	≥ 6
BOD 50 V	BOD 50 V	-
BOD 25 L	BOD 25 R	$\geq 1,5$
BOD 25 R	BOD 25 L	$\geq 1,5$
kterýkoli bod v pásmu III		$\leq 0,7$
kterýkoli bod v pásmu IV		≥ 2
kterýkoli bod v pásmu I		≤ 20

4 Rozbor požadavků na viditelnost v nočním dopravním prostoru

Hlavní příčinou mnoha tragických nehod je nedostatečná viditelnost chodce nebo jiných předmětů. Viditelnost chodce nejvíce závisí na zrakovém vnímání řidiče, světlometech vozidla, nebo osvětlení místa, kde se chodec vyskytuje. Nezapomínáme ani na stav a povrch vozovky, kde má mokrá a suchá vozovka různé odraznosti. V neposlední řadě také závisí na poloze a oblečení chodce, což ovlivňuje, z jaké vzdálenosti bude chodec spatřen řidičem vozidla. Pro včasnou viditelnost chodce jsou také velmi důležité rozhledové poměry na komunikaci. [7]

4.1 Zrakové vnímání

Celé zrakové vnímání je řízeno podle toho, které receptory a v jakém počtu se procesu účastní. Pro vidění fotopické (ve dne – čípky), skotopické (v noci – tyčinky), mezopické (za soumraku – čípky s přechodem k tyčinkám).

Uspořádání receptorů na sítnici má přesně zvolená místa s ohledem na jejich funkční postavení při zrakovém vnímání. Podněty zachycené receptory se převádějí do podoby elektrických impulzů na úrovni gangliových buněk, které jsou přímo spojeny s vyššími centry CNS. Na obrázku 20 je popsáno dělení gangliových buněk za různých podmínek jasu.

Další věcí je pohledové pole člověka, které je tvořeno polem monokulárním a binokulárním. Celkové pole v horizontální rovině činí 190°, ale pole přesného vidění je jen v oblasti funkce ústřední jamky, podle které se i nazývá vidění foveální.

Úspěšnost zaznamenání podnětu ve foveální úrovni závisí na čtyřech parametrech:

- Jas předmětu
- Kontrast
- Velikost a tvar předmětu
- Pohled a doba pozorování

Největší velikost optimálního zorného pole řidiče při fotopickém vidění je 30°. Při skotopickém vidění (v noci) nejsou k dispozici téměř žádné zrakové informace potřebné k určení rychlosti nebo rozpoznání podnětu. Řidič se tedy soustřeďuje jen na podněty, které vidí ve velmi malém prostorovém úhlu vymezeném úhlovou hodnotou ústřední jamky.

Nutno říct, že reakční doba závisí i třeba na věku, únavě, stresu nebo předvídaných schopnostech samotného řidiče. Podle těchto parametrů lze říct, že zorný úhel pro zaznamenání zrakových podnětů za těchto světelných podmínek, kde je prostor vyplněn tmou, bude velmi malý. Úhlová hodnota zorného úhlu ústřední jamky by neměla převyšovat 1,5°. [7]

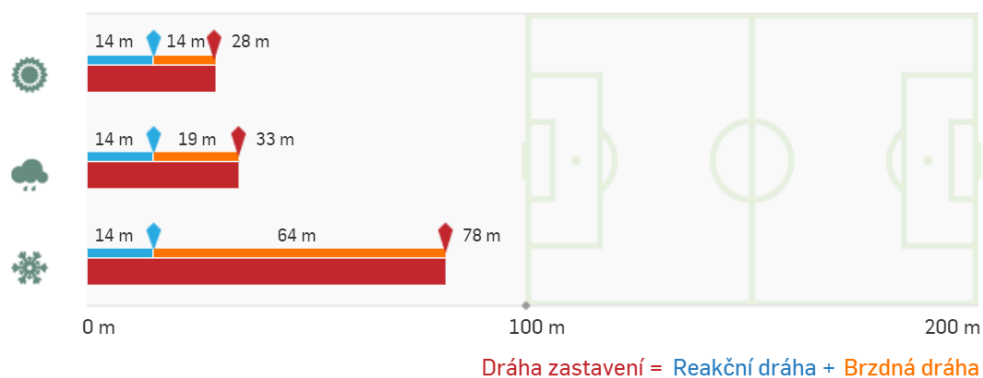
Řidič při jízdě			
Parametr	Ve dne	Za soumraku	V noci
Úroveň jasu	$3 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^2 - 3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2} - 3 \cdot 10^{-3}$
Druh receptoru	Čípky	Čípky - Tyčinky	Tyčinky
Gangliové buňky	W - 28,88 km/h	X - 50,4 km/h	Y - 180 km/h
Označení	Fotopické	Mezopické	Skotopické
Vyšší centrum	Gangliové buňky malé - velké		
Zorné pole	45° - 1,5°	30° - 1,5°	15° - 1,5°
Prostředí	Pestré-barevné	Barevný posun	Nebarevné
Zraková ostrost	Vysoká	Adekvátní kontrastu	Vyšší jen v periférii
Struktura-textura	Binoculární	Omezené	Monoculární-plošné
Rychlost rozlišení	Vysoká	Adekvátní úrovní jasů	Velmi nízká
Stav biol systému	Připravený	V přechodové části	Utlumený

Vyhodnocení	Určující odezva		
Vyšší centrum	Fofea centralis		
	Rychlost	Barva	Tvar

Odpověď biologického systému na rozpoznání podnět			
---	--	--	--

Obrázek 20.: Popis zrakového snímání řidiče [15]

Reakční doba také úzce souvisí s celkovou dráhou zastavení vozidla před překážkou. Celková dráha zastavení vozidla se skládá z reakční dráhy a brzdné dráhy vozidla. Na obrázku 21 je jako příklad zobrazena dráha zastavení vozidla na suché, mokré a zasněžené vozovce při dovolené rychlosti 50 km/h. Jistou roli hraje i kvalita dezénu pneumatik. V tomto případě počítáme jak s nejlepšími možnými parametry komunikace, tak automobilu. Pro porovnání je na pravé straně obrázku 21 znázorněna reálná velikost fotbalového hřiště. [16]



Obrázek 21.: Dráhy zastavení řidiče [16]

4.2 Kontrast

Hlavním požadavkem na projektování veřejného osvětlení není jen zvolit správné osvětlení, ale hlavně zajistit správné rozpoznání chodců či předmětů vyskytujících se na pozemních komunikacích. Proto musíme dbát o správný kontrast s pozadím.

Při rozhodování, zda použít pozitivní nebo negativní kontrast pro zvýraznění chodců, je třeba vzít v úvahu nejen úroveň osvětlení komunikace, ale i okolí. [7]

4.2.1 Stejný kontrast

Při špatném navržení osvětlení pozemní komunikace se může stát, že bude osvětlený chodec splývat s pozadím, které může být také nasvětlené. Takové osvětlení se mihne účinkem a může vést spíše ke škodě než k užitku. Špatný kontrast je vidět na obrázku 22. [7]



Obrázek 22.: Stejný jas chodce a pozadí [26]

4.2.2 Negativní kontrast

Pokud tedy už bude osvětlené okolí komunikace, je vhodným řešením neinstalovat už žádné další osvětlení. Díky tomu dostane chodec negativní kontrast a bude vidět jako tmavá silueta na světlém pozadí, jak je znázorněno na obrázku 23. Za jasného dne je oko schopno rozpoznat kontrast 1:1,01. [7]



Obrázek 23.: Negativní kontrast [26]

4.2.3 Pozitivní kontrast

Dalším a nejvíce častým je pozitivní kontrast, který vzniká přisvícením svítidel veřejného osvětlení z pohledu přijíždějícího vozidla. Za noci, při relativně slabém osvětlení, jaké je na komunikacích, je potřebný mnohem větší kontrast. Za dostatečný lze považovat kontrast 1:3. [7]



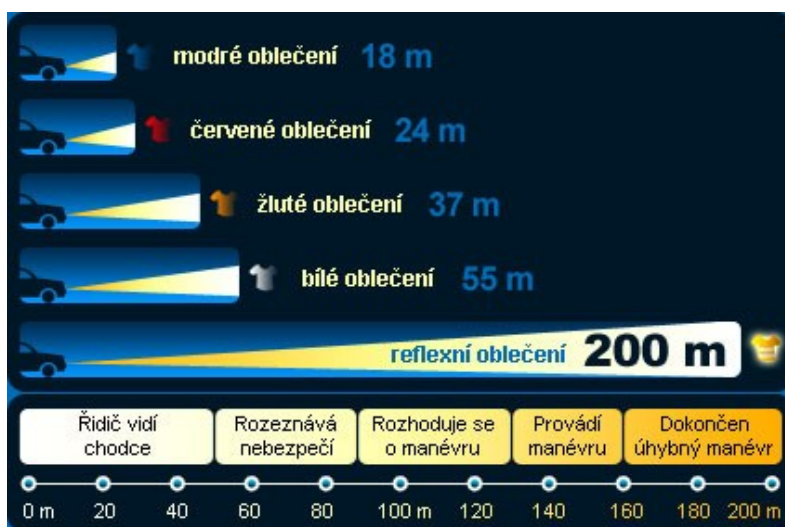
Obrázek 24.: Pozitivní kontrast [26]

4.3 Odrazné materiály

Viditelnost chodců nebo různých jiných předmětů závisí na jejich barevnosti a na světelném kontrastu v porovnání s okolním pozadím. Nelze tedy říct, že čím je oblečení nebo materiál světlejší, tím je viditelnost předmětu lepší. Jako příklad se může použít kontrast zelené bundy s lesem v pozadí. V tomto případě nebude chodec správně viditelný, protože bude splývat s pozadím lesa.

Pokud vezmeme porovnání barev oblečení, tak při standardním osvětlení světlometů je nejhorší viditelnost u modré barvy, která je v noci vidět na přibližně 18 metrů. O něco lepší je červená barva oblečení, kterou lze spatřit na 24 metrů. Poté následuje žluté a bílé oblečení. Ovšem pokud vezmeme v úvahu délku brzdné dráhy při standardní povolené rychlosti 90 km/h, kdy reakční doba řidiče je asi 30 až 40 metrů, je nutno říct, že viditelnost běžných barev není nikdy dostatečná pro bezpečné zastavení vozidla. Jedním z řešení, jak zvýšit bezpečnost předmětů a chodců na pozemních komunikacích, je použití reflexních a fluorescenčních materiálů. Tyto materiály velice zlepšují schopnost viditelnosti chodce v porovnání s běžnými barevnými materiály. Osoba za volantem dokáže spatřit chodce nebo cyklistu s fluorescenčními nebo reflexními prvky až na vzdálenosti 200 metrů. Tato hodnota už zaručuje správnou analýzu situace na provedení potřebného manévru.

[7]



Obrázek 25.: Viditelnost chodce s různou barvou oblečení [7]

Ze známých hodnot osvětlenosti a jasu je možné získat odraznost oděvů chodců.

$$\rho = \frac{L \cdot \pi}{E} \quad (-, \text{cd} \cdot \text{m}^2, \text{lx}) \quad (4.1)$$

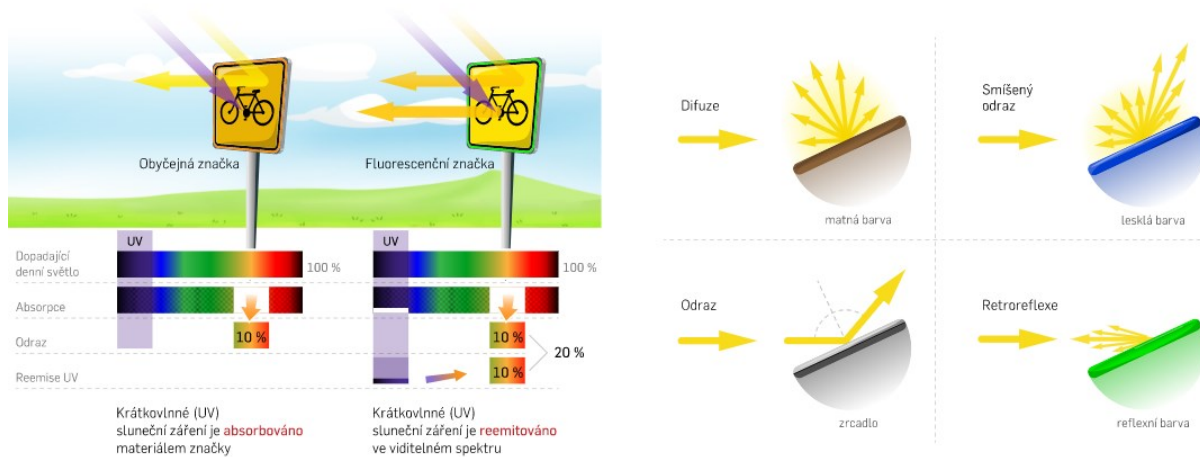
Je žádoucí vědět pro všeobecné posouzení odraznosti průměrnou hodnotu kvůli velké odlišnosti poměrné odrazností oděvů. Je však nutné zmínit, že se nejedná o obecně platný vztah.

[7]

4.3.1 Fluorescenční materiály

Tyto materiály jsou dobře viditelné jak za denního světla, tak za soumraku. Fluorescenční materiály jsou velmi rozšířené a používají se nejen jako prvky na oblečení, ale i pro zlepšení viditelnosti dopravního značení. Nevýhodou těchto látek je jejich nízká efektivita po soumraku, a proto je vhodná kombinace používání s reflexními materiály, které zajišťují lepší viditelnost v noci. Nejvíce využívanými barvami fluorescenčních látek jsou oranžová, žlutá a zelená.

Fluorescenční látky spadají do skupiny fotoluminiscenčních materiálů, které využívají, jak už název napovídá, tzv. luminiscenci. Látky využívající luminiscenci pohlcují elektromagnetické záření specifických vlnových délek a vyzařují je zpět s nižší energií, ale delší vlnovou délkou. To znamená, že při použití fluorescenčních signálních barev nastává jev, při kterém dochází k absorpci ultrafialového slunečního záření a poté emisi záření ve viditelném spektru. Proto je největší účinnost těchto látek při zatažené obloze nebo soumraku, kdy je hodnota viditelného záření mnohem menší než za jasného dne. [17]



Obrázek 26.: Obyčejná a fluorescenční značení [17]

4.3.2 Reflexní materiály

Tyto materiály oproti fluorescenčním materiálům nemají žádnou specifickou barvu. Využívají princip zpětného odrazu světla tzv. retroreflexi. To zapříčiňuje, že světelné paprsky, které dopadají na povrch, odrážejí část fotonů zpět ve směru původního zdroje světla. Řidič tento odraz zaznamená ve formě pozitivního kontrastu. Účinnost odrazu světla je závislá na provedení a kvalitě reflexního materiálu. Reflexní materiály se dělí na dva základní typy. První je tzv. koutový reflektor založen na spojení tří navzájem kolmých ploch tvořících roh krychle. Tento typ tvoří ve větším množství těchto útvarů většinu používaných dopravních prvků. U těchto typů reflektorů se paprsek odrazí až třikrát, aby se otočil jeho směr. Koutové reflektory používají dvě varianty uspořádání ploch. Na obrázku 27 je možné vidět hnědě a žlutě znázorněné trojúhelníkové uspořádání při různém odrazu od plochy a dále červeně znázorněné čtvercové uspořádání reflektorů. [17]



Obrázek 27.: Uspořádání odrazných ploch [17]

Jako druhý typ jsou používané materiály vytvořené na štíhlé vrstvě nalepených mikroskopických skleněných kuliček neboli balotínů znázorněné zeleně na obrázku 27. Na jeden cm² připadne asi 30000 těchto kuliček. Toto uspořádání způsobuje, že se dopadající světlo po dvojnásobném lomu odrazí a míří zpátky ke zdroji emitovaného záření. Výroba většinou zahrnuje vytvoření odrazného materiálu, nanesení vrstvy kuliček a poté zalití opticky průchozím materiálem. Uspořádání balotínů je součástí i bílých směsí, které se využívají pro vodorovné dopravní značení.

[17]

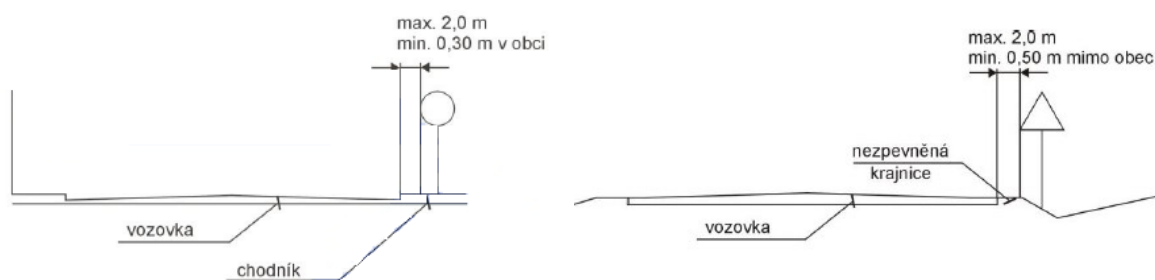
4.4 Dopravní značení

Dalším z několika parametrů, které ovlivňují bezpečnost v dopravním prostoru jsou bezpodmínečně dopravní značení. Správným umístěním značek tak, aby řidič mohl správně reagovat na danou situaci se zabývá předpis TP65. Rozhodovací vnímání je nutné rozložit do určité dráhy i času tak, aby se nevyžadovali zbytečně nepřiměřené nároky na schopnosti řidiče. To znamená, že by dopravní značení nemělo být rušeno jinými nepodstatnými značkami, či poutači. Jedním z nejdůležitějších prvků pro správné značení je vzdálenost a umístění značky od označeného místa. V tomto případě se vyhází z povolené rychlosti jízdy na dané komunikaci.

Značky musí být pro řidiče viditelné z dostatečné vzdálenosti, například pro komunikace mimo obec musí být značka vidět nejméně na 100 metrů, v obci je vzdálenost o polovinu kratší. Značení by neměla být nikdy překryta jinými předměty, které by bránily v podání informace.

Nejčastěji používané je tzv. boční umístění. Na obrázku 28 jsou graficky znázorněné maximální a minimální hodnoty pro umístění značení mimo a v obci. Dodržení musí být i vizuální kontrast s okolím samotné konstrukce značky.

Nejmenší výškové umístění značky bráno od spodního okraje je 1,5 m nad úrovní vozovky. Naopak nejvýše může být až do 2,7 m nad úrovní vozovky. Další z variant je umístění značky nad komunikace dálnic nebo silnic 1. třídy, a to v minimální výšce 5,2 m. U ostatních komunikací platí výška 5 metrů nad úrovní vozovky. Na jedné konstrukci může být několik značek umístěných symetricky pod sebe. Je zakázáno kombinovat značky s jinými světelně technickými vlastnostmi. To znamená použití nereflexní a reflexní značky na jednom sloupku. [18]



Obrázek 28.: Dopravní značení [18]

Pokud není možné z jakéhokoli důvodu umístit dopravní značení na pravou stranu vozovky, je nutné umístění alespoň v levém viditelném prostoru. V tomto okamžiku nastává velký problém, a to kvůli asymetrickému rozložení svítivosti potkávacích světlometů. Vertikální osvětlenost světlometů je v levé straně vozovky daleko menší než v pravé, tím může nastat nedostatečně rychlá reakce řidiče na dopravní značení. [18]

4.5 Oslnění

Jedná se o velmi nepříjemný stav zraku, který zhoršuje viditelnost řidiče či chodce na pozemních komunikacích. Malou úroveň oslnění účastník provozu z velké části ani nezaregistruje ale většinou má tento jev velký vliv na samotnou zrakovou únavu. Pokud je člověk vystaven větší úrovni oslnění, často se pro něj stává řízení vozidla daleko namáhavější.

Oslnění nastává při velkých rozdílech jasů nebo větších prostorových a časových kontrastech jasů v oblasti zorného pole člověka způsobených velkým překročením adaptability oka. Oslnění je možné dělit na dva typy, a to oslnění přímé, kdy je větší jas způsoben přímým světelným tokem ze svítidla, nebo odrazné, které je vyvoláno odrazem lesklých či jiných odrazných ploch pozorovaného předmětu.

Jedním z ojedinělých oslnění je závojevý nebo přechodový oslnění. Přechodový vzniká při nedostatečně rychlé adaptaci oka na jas a závojevý hlavně při mlze, kdy je pozorovaný předmět v prostředí s vyšším jasnem. Přímé oslnění svítidel je možné určit pomocí metody CIE – GR, kterou nám udává vzorec: [5]

$$GR = 27 + 24 \cdot \log_{10} \left(\frac{L_V}{L_{Ve}} \right) \quad (4.2)$$

Kde:

L_V = závojevý jas (cd/m^2)

L_{Ve} = ekvivalentní závojevý jas pozadí (cd/m^2)

Kdy se závojevý jas L_V vypočítá jako podíl osvětlenosti oka pozorujícího v rovině kolmé na směr pohledu ku kvadrátu úhlu θ mezi směrem pohledu pozorovatele a směrem dopadajícího světla od svítidla.

$$L_V = 10 \cdot \left(\frac{E_{eye}}{\theta} \right) \quad (4.3)$$

Dále pokud je předpokládáno, že vzniká rovnoměrně rozptýlený jas pozadí, je možné podle rovnice spočítat ekvivalentní závojevý jas L_{Ve}

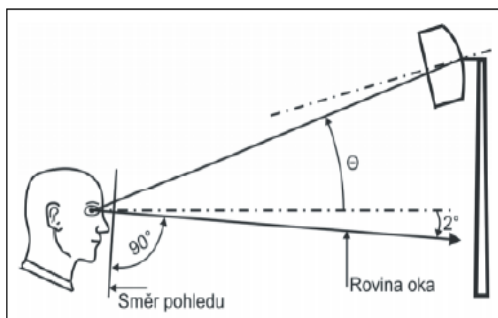
$$L_{Ve} = 0,035 \cdot \left(\frac{\rho \cdot E_{hav}}{\pi} \right) \quad (4.4)$$

Kde:

ρ = střední součinitel odrazu světla (-)

E_{hav} = průměrná horizontální osvětlenost prostoru (lx)

[5]



Obrázek 29.: Úhel mezi směrem pohledu a směrem světla od svítidla [5]

4.5.1 Prahový přírůstek

Jedním z hlavních určujících hodnot u oslnění je veličina TI neboli threshold inkrement což v překladu znamená prahový přírůstek. Jinak zapsáno f_{TI} je tedy procentuální zvýšení kontrastu předmětu, které je zapotřebí pro zachování prahu jeho viditelnosti při omezujícím oslnění způsobeném svítidly osvětlovací soustavy pozemní komunikace.

Prahový přírůstek TI je mírou účinku omezujícího oslnění, popisovaného jako ekvivalentní závoje jas způsobený rozptylem světla v lidském oku. Hodnoty TI jsou spočteny podle normy EN 1321-3 za pomoci vztahu pro ekvivalentní závoje jas. Při stanovení požadavků na omezení TI nebo při hodnocení vypočtených hodnot TI je nutné počítat s narůstajícím rozptylem světla v lidském oku úměrně ke věku pozorovatele. Nárůst rozptylu je ovšem velmi individuální v závislosti nejen na věku, ale i třeba na různém zrakovém postižení. [4]

Prahový přírůstek se vypočítá podle vzorce:

$$f_{TI} = 65 \frac{L_V}{(L_i)^{0,8}} \quad (4.5)$$

Kde:

L_V – závoje jas (cd/m^2)

L_i – průměrný jas silnice (cd/m^2)

Tímto přírůstkem se podle normy posuzují omezující oslnění u tříd osvětlení C a P. Níže popsané maximální hodnoty f_{TI} by nikdy na těchto třídách neměli být přesáhnuty. [4]

Tabulka 10.: Třídy oslnění C a P [3]

Třída C	f_{TI} (%) (maximální hodnota)	Třída P	f_{TI} (%) (maximální hodnota)
C0	15	P1	20
C1	15	P2	25
C2	15	P3	25
C3	20	P4	30
C4	20	P5	30
C5	20	P6	35
		P7	neurčeno

4.5.2 Omezení oslnění VO

Aby se zamezilo oslnění v oblasti veřejného osvětlení, byla norma ČSN EN 13201-2 vytvořena i s hodnotami svítivosti, které udávají požadavky pro třídy oslnění a třídy clonění. V tabulkách 11 a 12 jsou popsány třídy clonění G1 až G6 a třídy oslnění D0 až D6. Svítivosti jsou dány v určitém úhlu měřeném zdola od svislice v různém směru pro dané svítidlo v plně provozní poloze. Hodnoty svítivosti naměřené do 1 cd jsou považovány za nulové. Pro zjištění správných hodnot indexu oslnění je nutné znát součinitel oslnění, který se vypočítá jako: [3]

$$I \cdot A^{-0,5} \text{ (cd/m)} \quad (4.6)$$

Kde:

I – největší hodnota svítivosti pod úhlem 85 stupňů, který je měřen zdola od svislice v jakémkoli směru. (cd)

A – jedná se o průměr plochy, která svítí kolmo směrem k I . (m^2)

Tabulka 11.: Třídy oslnění [3]

třída	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Hodnota součinitele oslnění	-	≤ 7000	≤ 5500	≤ 4000	≤ 2000	≤ 1000	≤ 500

U svítidel, která jsou osazena zdroji s vyššími světelnými toky, může být nutné omezit také absolutní hodnoty svítivosti. Provozní třídy G1-G3 jsou odpovídající tradičnímu částečně cloněnému provedení, kdežto třídy G4-G6 jsou pro plně cloněné provedení. [3]

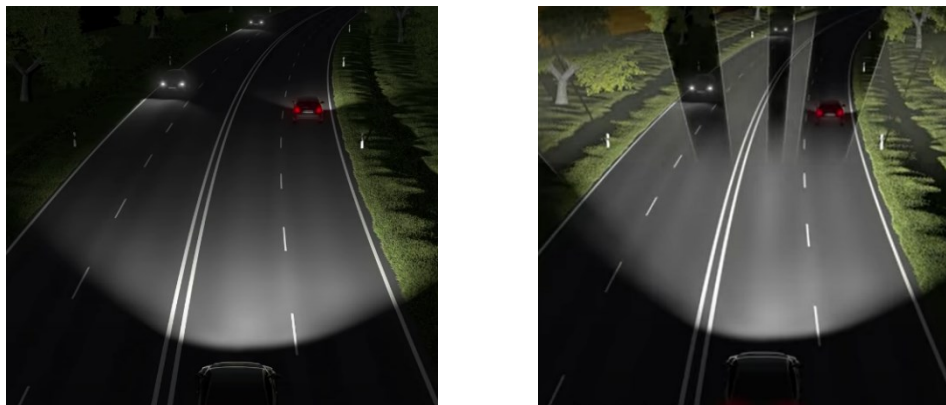
Tabulka 12.: Třídy clonění [3]

Třída	Maximální svítivost ^a ve směrech pod horizontální rovinou v cd/klm vztažená na výstupní světelný tok svítidla			Jiné požadavky
	v úhlu 70° a větším ^b	v úhlu 80° a větším ^b	v úhlu 90° a větším ^b	
G*1		200	50	žádné
G*2		150	30	žádné
G*3		100	20	žádné
G*4	500	100	10	svítivost nad 95° ^b má být nula ^c
G*5	350	100	10	svítivost nad 95° ^b má být nula ^c
G*6	350	100	0 ^c	svítivost nad 90° ^b má být nula ^c

Příkladem, kdy je možné použití tříd clonění, je stoupající pozemní komunikace. Za vrcholem mohou být svítidla pozorována pod úhlem s vysokou hodnotou svítivosti. Je tedy nutné snížit oslnění svítidly použitými za vrcholem komunikace. V těchto případech je možné použít svítidla, která vyhovují provozním třídám svítivosti G4 až G6. [3]

4.5.3 Omezení oslnění světlometů

Oslnění u automobilů se pomocí dnešních moderních světlometů dá zamezit například pomocí technologie LED matrix. Kamera na čelním skle dokáže rozpoznat objekty nebo osoby, které odrážejí světlo. Po rozpoznání řídící jednotkou auto automaticky ztlumí nebo vypne určité LED segmenty tak, aby nedošlo k oslnění jiných vozidel. Díky tomuto systému je možné jezdit se stále zapnutými dálkovými světly, aniž bychom jakkoli oslnili jiné účastníky provozu. Ačkoli má tento systém mnoho nadějných aspektů, ve většině případů není zdaleka dotažen k dokonalosti. Stává se tedy, že protijedoucí vozidlo je oslněno někdy i ve větším měřítku než při klasických reflektorových světlometech. [19]



Obrázek 30.: Porovnání normálního světlometu a LED matrix [19]

Oslnění světlomety se dá částečně zabránit například clonami proti oslnění. Clony proti oslnění jsou umístěny na ocelová nebo betonová svodidla. Tento systém se skládá z několika za sebou poskládaných clon a žárově zinkované fixační konstrukce. Clony jsou vyrobeny z polyethylenu s vysokou hustotou a jsou odolné vůči mechanickému poškození, UV záření či povětrnostním vlivům. Standartně se vyrábí v zeleném provedení, ale je možné použít i jiných barev v závislosti na požadavcích zákazníka. Clony jsou široké 220 mm, vysoké až 1200 mm s roztečí 660 mm od sebe. [21]



Obrázek 31.: Clony proti oslnění [21]

4.6 Rozhledové překážky

Dostatečnému rozhledu řidiče na komunikaci brání ve vícero situacích překážky různých druhů. Tím mohou být například překážky pohyblivé, dočasné, pevné nebo i náhlé. Kvůli zajištění správných rozhledových poměrů by se neměly v žádném případě umísťovat v blízkosti komunikace například stánky nebo vyšší keře. Ovšem na komunikaci mohou nastat situace, kdy jsou ojedinělé překážky tolerovány. Příkladem ojedinělých překážek jsou například lampy veřejného osvětlení.

Jednou z nejnebezpečnějších překážek je stromořadí na vnitřní straně směrového oblouku. Dalším negativním vlivem je střídání světla a stínů na komunikaci a míhání stromů kolem přijíždějícího vozidla. Všechny tyto vlivy vedou ke zrakové nepohodě řidiče a tím pádem ke zvýšené únavě, která může zapříčinit dopravní nehodu. V rozhledu mohou překážet řidičům i jednotlivé

stromy v obloucích nebo na křižovatkách. Můžou také bránit ve viditelnosti dopravního značení nebo jiných protijedoucích vozidel.

Další z překážek mohou být například podpůrné konstrukce dopravních staveb nebo reklamních poutačů. Do dočasných nebo pohyblivých překážek je možné zařadit vozidla větších rozměrů jako například autobusy, traktory nebo kamiony. Všechny tyto překážky mohou výrazně zhoršit podmínky viditelnosti na komunikaci. [20]

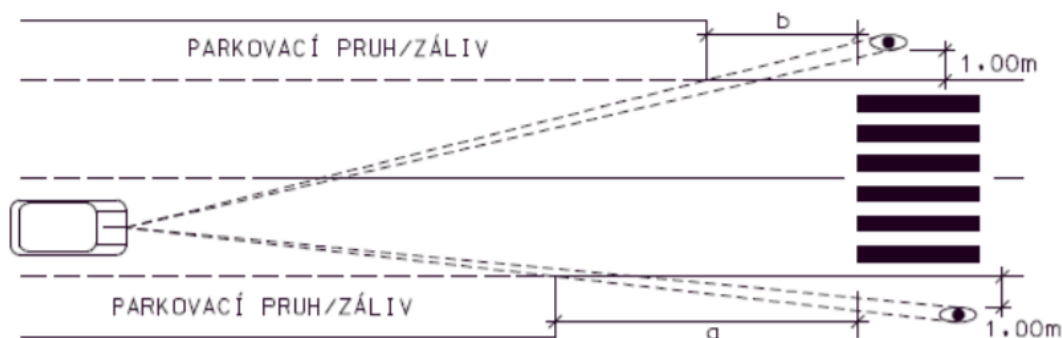
Proto se pro chodce na komunikaci umísťují přechody tak, aby bylo zajištěno včasné rozlišení chodce řidičem vozidla. Pro místa, kde omezují parkující vozidla nebo jiné překážky, se musí zajistit dostatečný rozhled, například vytvořením chodníkových ploch. Aby nebyl omezen výhled na chodce přijíždějícím řidičem, je nutné tyto plochy chránit proti odstavování motorových vozidel sloupy nebo zelení. V tabulce 13 je popsáno minimální rozhledové pole v závislosti na povolené rychlosti, které musí být dodrženo, aby nedocházelo k přehlédnutí chodce řidičem. [7]

Na obrázku 32 jsou znázorněny délky volného rozhledového pole pro řidiče označovaného jako „a” a „b”. Rozhledová délka pole je měřena od okraje přechodu.

V případě, kdy je přechod nebo místo na přecházení doplněno vysazenou chodníkovou plochou, která je předsazena před okraj jízdního pásu o více než 0,3 m, je možné zkrátit délky rozhledového pole na polovinu. [7]

Tabulka 13.: Rozhledové poměry [7]

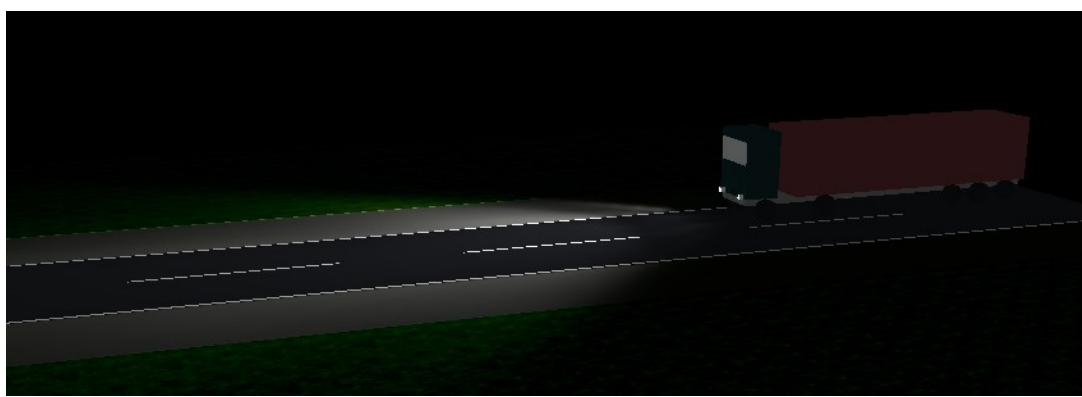
		Dovolená rychlost		
		50 km/h	40 km/h	30 km/h
Rozlišitelnost přechodu		100 m	60 m	50 m
Rozhledová vzdálenost na čekací plochy pro řidiče		50 m	35 m	30 m
Rozhled pro zastavení		35 m	25 m	15 m
a, b = délka volného rozhledového pole pro řidiče ve směru k vyznačenému přechodu	Na čekací plochu přechodu na pravé straně komunikace ve směru jízdy - a	20 m	15 m	10 m
	Na čekací plochu přechodu na pravé straně komunikace ve směru jízdy - b	15 m	10 m	5 m



Obrázek 32.: Rozhled z vozidla na chodce [7]

5 Modelování světelně-technických parametrů v nočním dopravním prostoru s automobilovými potkávacími světly

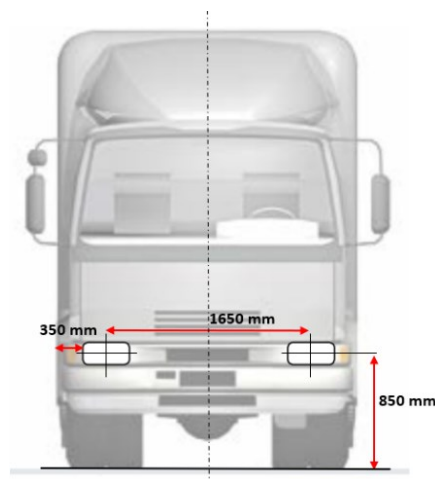
Pro modelování byl zvolen počítačový program Dialux, ve kterém byla vytvořena dopravní situace přesně podle skutečných parametrů. Následná praktická část práce se zabývá zjišťováním horizontální a vertikální osvětlenosti dopravního prostoru osvětleného automobilem s reflektorovými světly se zdroji H4, H7 a LED v různých výškových úrovních a vzdáleností na vozovce. Dále zjišťování hodnot vertikálních a horizontálních osvětleností jak veřejného osvětlení tak světlometů v různých kombinacích z důvodu zajištění viditelnosti, BESIP v nočním dopravním prostoru pozemních komunikací.



Obrázek 33.: Namodelovaná situace v Dialuxu 4.13

5.1 Popis automobilu

Jako návrh byl v programu Dialux 4.13 vytvořen nákladní automobil s reálnými geometrickými parametry a s potkávacími světly, které musí splňovat předpis ECE R48, R98 a R112. Nákladní automobil byl osazen reflektorovými světly se zdroji H4, H7 a světly s LED technologií. Výška středového bodu světlometu od úrovně vozovky byla zvolena vzhledem k předpisu na průměrných 850 mm. Jako další parametr byla zvolena rozteč svítidel 1650 mm. Od vnějšího okraje konstrukce automobilu jsou světlometry umístěny 350 mm. Všechny tyto parametry odpovídají předpisu pro nákladní automobily s pravostranným řízením. Pro následný výpočet byl v programu zvolen udržovací činitel na hodnotu 1, což odpovídá svítidlům na začátku doby života.



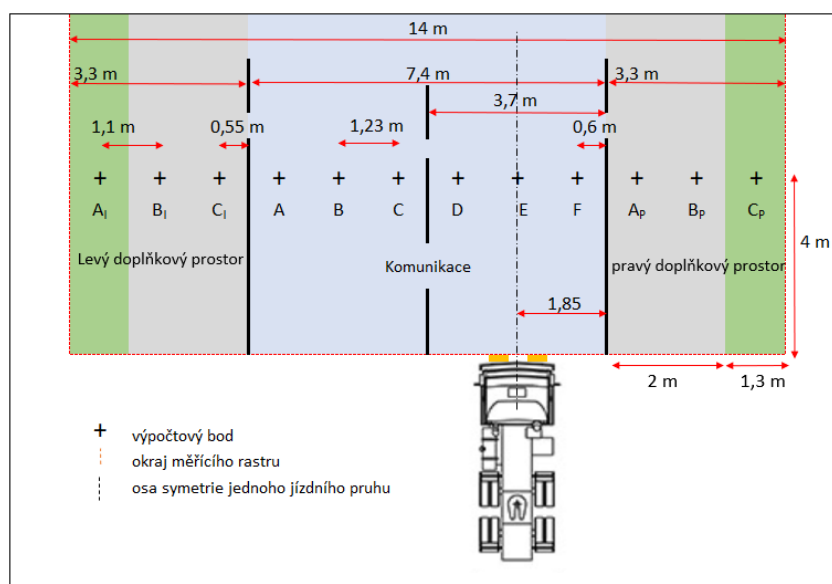
Obrázek 34.: Popis automobilu [24]

5.2 Návrh komunikace a výpočtu vodorovných rastrů

Pro modelování byla vytvořena dvoupruhová silnice o celkové šířce 7,4 m a symetrické rozložení pravého a levého jízdního pruhu, tedy 3,7 m. Nákladní automobil s testovanými světlomety byl umístěn přímo na střed pravého jízdního pruhu. Dále byl kolem silnice vytvořen pravý a levý doplňkový prostor. Každý o šířce 3,3 metru.

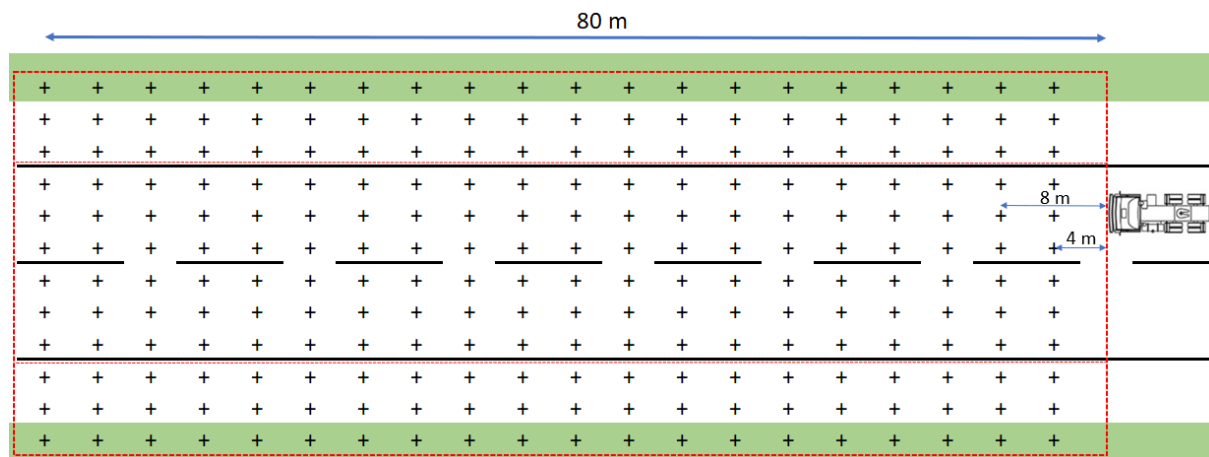
Celkově tedy bylo dosaženo šířky 14 metrů posuzovaného prostoru. Pro co nejvíce věrohodné parametry byly odraznosti silnice nastaveny na 5 %, pro doplňkové prostory byla zvolena zámková dlažba o šířce 2 m od krajnice s odrazností 35 % a pro doplnění ostatního okolí byla zvolena klasická travnatá plocha o odraznosti 29 %. Doplňkové prostory byly vyvýšené o 10 cm nad úroveň vozovky, jako je tomu u reálných komunikací. Na silnici bylo také vytvořeno vodorovné dopravní značení popisující krajnici a jízdní pruhy s odrazností 70 %.

Dále byl na takto připravenou plochu vytvořen rastr hodnot rozdělený na tři prostory, a to levý doplňkový prostor osazený třemi výpočtovými body A, B, C s indexem l a roztečí 1,1, kdy bod C_l je vzdálený 0,55 m od krajnice vozovky. Stejným postupem byl vytvořen pravý doplňkový prostor s indexem p. Samotná vozovka má vytvořených 6 bodů zleva podle abecedy s roztečí 1,23 m, kde krajní body jsou vzdálené 0,6 m od doplňkových prostor. První body všech prostor jsou v linii 4 m vzdálené od začátku přední části vozidla. Podrobný popis rastru je vidět na obrázku 35.



Obrázek 35.: Popis rozložených bodů

Podle takto zvolené geometrie bylo dále vytvořeno několik dalších symetricky osazených bodů až do vzdálenosti 80 m od vozidla s roztečí 4 metrů. Celkem se tedy vytvořilo dvacet řad po dvanácti bodech. Takto vytvořený rastr horizontální osvětlenosti na hladině vozovky se následně duplikoval i do dalších výškových úrovní od 0,5 do 2,5 metrů, ve kterých byl nastaven výpočet vertikální osvětlenosti. Takto nastavené rastry byly poté použity pro výpočet E_h a E_v jak přímé, tak odražené složky. Pro doplňkové prostory byl rastr vyvýšen stejně jako geometrie o 10 cm nad úroveň komunikace.



Obrázek 36.: Vodorovný rastr

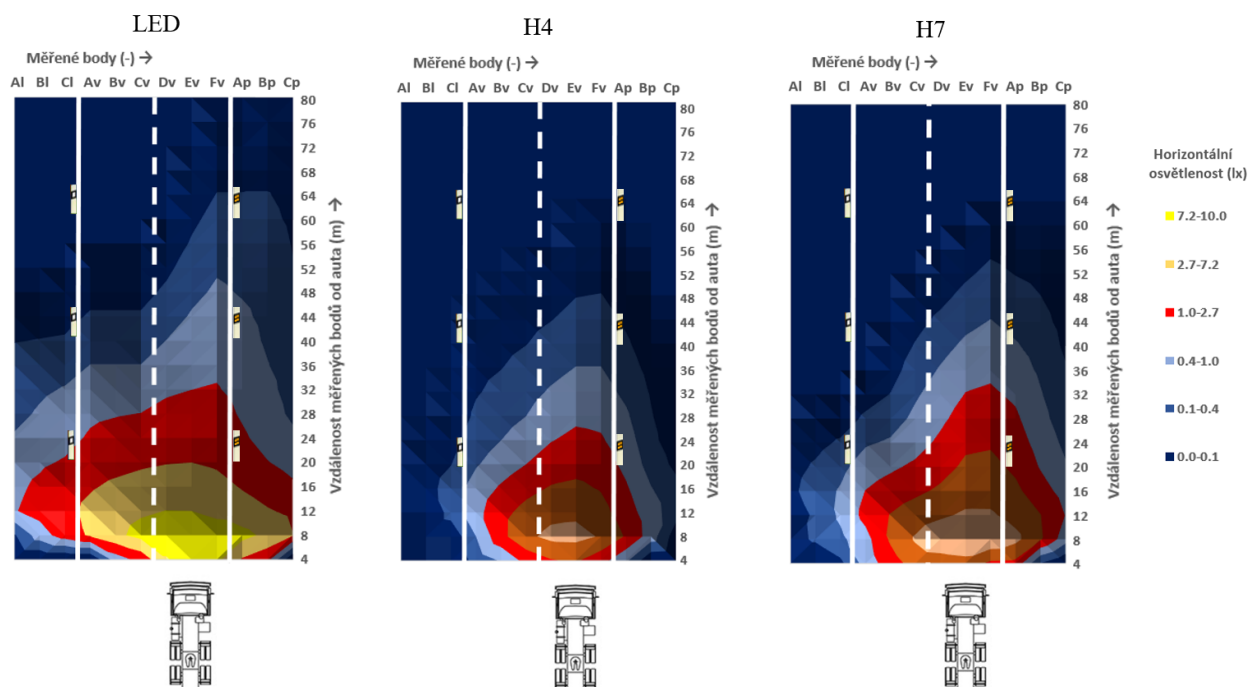
5.3 Výsledky a zhodnocení vodorovných rastrů

V první části diplomové práce byl namodelován úsek jen s automobilem s různými potkávacími světly. Pro přehlednost jsou vypočtené hodnoty zobrazeny pomocí obrysových grafů. Grafy osvětleností různých druhů světlometů byly poté porovnány vedle sebe a zhodnoceny. Zhodnocení vertikálních osvětleností bylo více zaměřeno na levý doplňkový prostor, kde mají světlomety největší slabiny. Proto je ke každému porovnání grafů umístěna tabulka, ve které jsou zobrazeny vypočtené hodnoty do vzdálenosti 28 metrů určující nejkratší možnou dráhu zastavení řidiče při rychlosti 50 km/h. Vypočtené hodnoty jednotlivých prostor komunikace jsou následně zprůměrovány. Zbýlé neméně důležité vypočtené hodnoty osvětlenosti jsou obsaženy v přílohách. Co se týče horizontální osvětlenosti, zde byl kvůli vodorovnému dopravnímu značení více popsán prostor pravého jízdního pruhu.

Pro zvolení hodnocené minimální neboli kritické hodnoty osvětlenosti se vycházelo z tabulky 7, ve které jsou popsány třídy osvětlenosti P pro doplňkové prostory. Vzhledem ke klesající tendenci osvětlenosti tříd P5 a P6, byla zvolena ještě o jeden stupeň nižší osvětlenost 1 lx označená v obrysových grafech jasně červenou barvou. Pro nižší hodnoty osvětlenosti než 1 lx není možné určit, zda by byl daný chodec či předmět spatřen v zorném poli řidiče. Dále byly v grafech pro lepší přehlednost umístěny směrové sloupky ve vzdálenostech 20, 40 a 60 metrů od vozidla.

Cílem modelování a výpočtu bylo následné zhodnocení dopravního prostoru zaměřené na osvětlenost chodců, dopravního značení či jiných překážek v dopravním prostoru.

5.3.1 Horizontální osvětlenosti



Obrázek 37.: Horizontální osvětlenosti

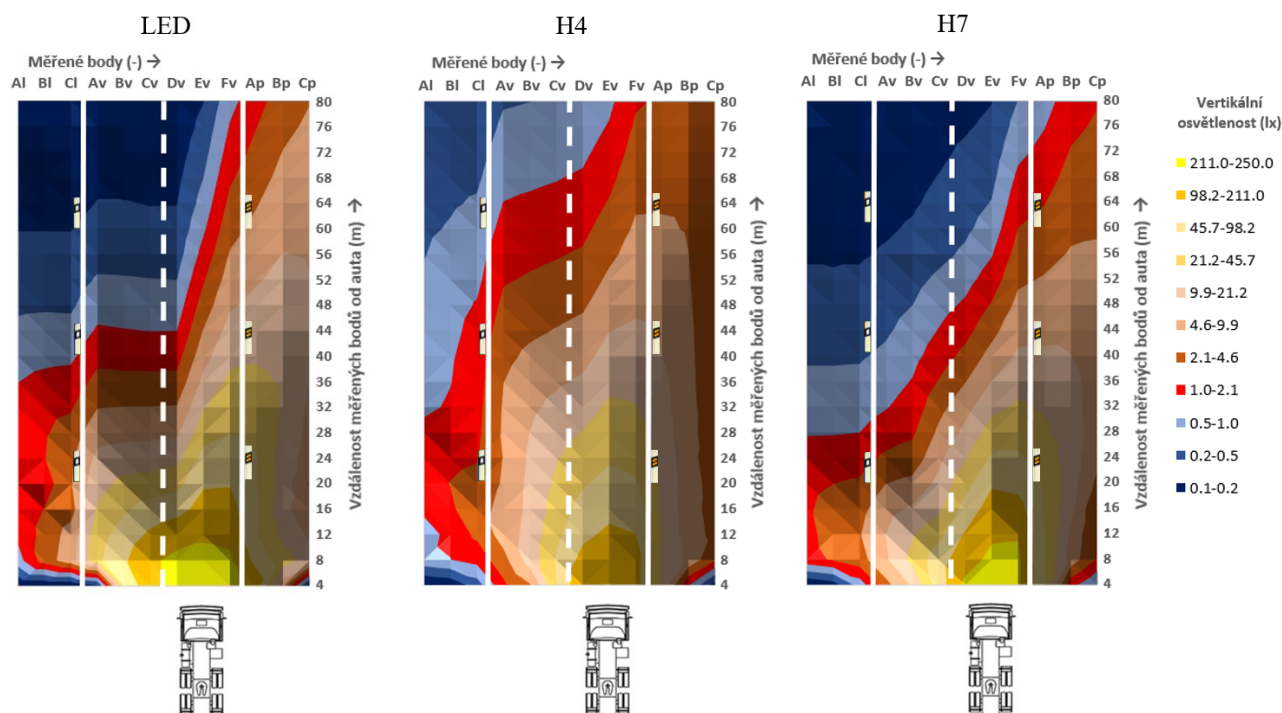
Osvětlenost samotné vozovky zde hraje také nemalou roli vzhledem k nutné viditelnosti vodorovného dopravního značení. Přibližně stejnou největší E_h hodnotu 1 lux mají světlomety LED a H7, kde LED je lepší při osvětlení obou doplňkových prostor. Pokud by se vzaly v potaz i nižší osvětlenosti, tak LED technologie dokáže dosáhnout osvětlenosti 0,4 lux až na vzdálenost 64 m. Nejhorší situace nastává u H4 světlometu.

Tabulka 14.: Horizontální osvětlenosti v pravém jízdním pruhu

Horizontální osvětlenosti světlometů (lx)									
Vzdálenost (m)	LED			H4			H7		
	Dv	Ev	Fv	Dv	Ev	Fv	Dv	Ev	Fv
32	0.86	0.98	1.04	0.5	0.64	0.62	0.67	1.02	1.11
28	1.27	1.36	1.38	0.68	0.87	0.82	0.86	1.35	1.43
24	1.73	1.81	1.75	0.96	1.18	1.08	1.15	1.84	1.96
20	2.55	2.65	2.32	1.41	1.65	1.47	1.62	2.46	2.62
16	4.16	4.25	3.57	2.28	2.51	2.02	2.43	3.31	3.39
12	7.28	7.17	6.07	3.76	4.02	2.83	4.08	5.12	5.08
8	13	14	12	5.57	5.7	4.33	7.98	9.37	8.69
4	6.82	11	9.26	2	2.36	1.3	3.09	3.45	1.83
Průměrná hodnota (lx)	4.93			2.11			3.16		

Nejdůležitějším prostorem v oblasti horizontální osvětlenosti je kvůli viditelnosti dopravního značení či například různých nerovností na komunikaci pravý jízdní pruh. V tabulce 14 je zobrazené porovnání E_h jednotlivých světlometů do vzdálenosti 32 m od vozidla. Hodnoty v tabulce potvrzují vytvořené grafy, kde nejlepší osvětlenost nastává u LED světlometu. Důkazem je i celková průměrná hodnota osvětlenosti vypočtených hodnot.

5.3.2 Vertikální osvětlenosti 0,5 m nad komunikací



Obrázek 38.: Vertikální osvětlenosti 0,5 m nad komunikací

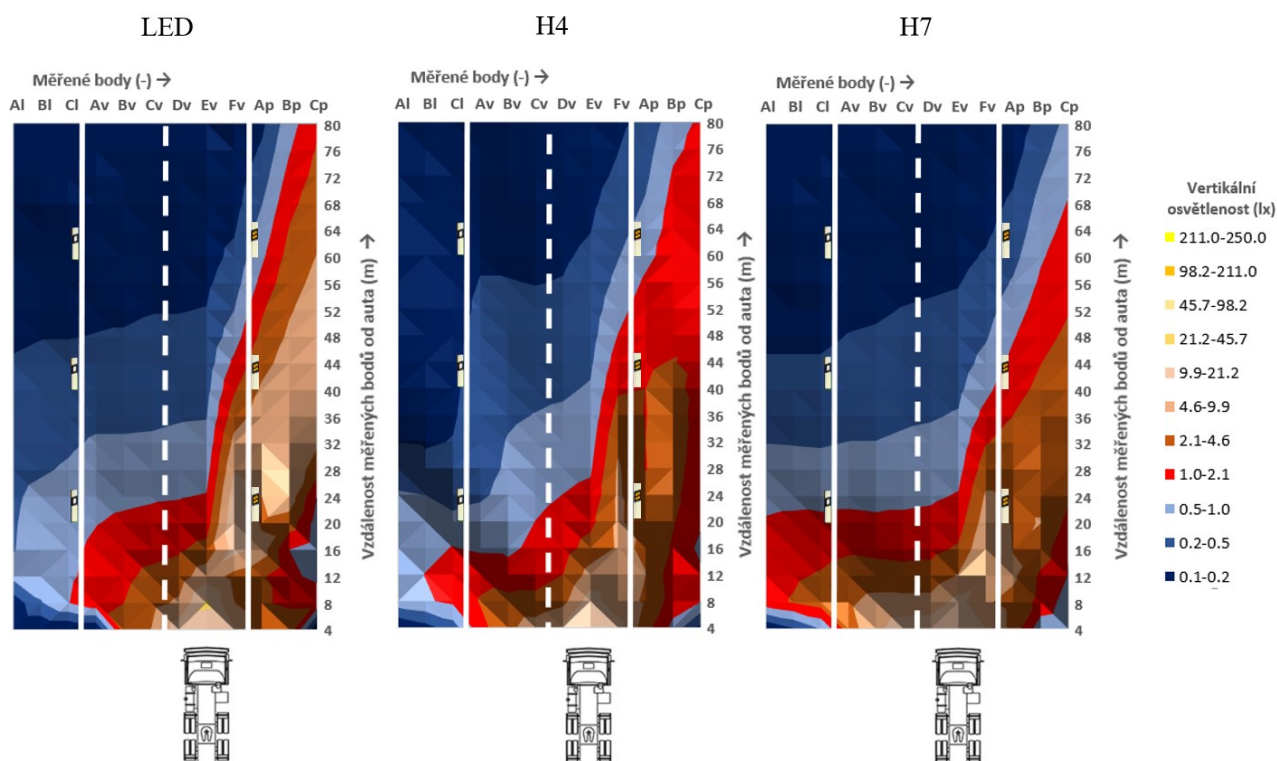
V této výškové oblasti vyniká nečekaně H4 světlomet, který má v levé části komunikace znatelně lepší osvětlenost než ostatní zdroje. LED a H7 jsou zaměřené více na pravou stranu komunikace. Pokud by se ovšem vzala v potaz celková osvětlenost levého doplňkového prostoru, vyhrává zde zase LED, která dosahuje kritické osvětlenosti při necelých 40 m. Je možné si všimnout i mírného poklesu na rozhraní levého doplňkového prostoru a komunikace, tento jev je způsoben zvýšením rastru doplňkových prostor nad komunikaci o 10 cm.

Tabulka 15.: Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve výšce 0,5 m

	Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve výšce 0,5 m (lx)								
	LED			H4			H7		
Vzdálenost (m)	Al	Bl	Cl	Al	Bl	Cl	Al	Bl	Cl
28	1.07	1.98	2.92	1.23	1.28	1.8	0.94	0.95	0.99
24	1.01	2.08	3.97	1.41	1.78	2.01	1.36	1.42	1.49
20	1.37	1.45	4.31	1.44	2.19	2.69	1.74	2.12	2.37
16	1.26	2.18	3.4	1.17	1.9	3.47	1.94	2.79	3.6
12	1.17	2.79	6.35	0.69	1.27	2.51	1.74	2.89	4.35
8	0.73	3.15	7.1	0.77	0.97	1.31	1.65	2.31	3.38
4	0	0	0.01	0	0.12	0.31	0.06	0.14	0.64
Průměrná hodnota (lx)	2.30			1.44			1.85		

Pokud se vezme v potaz jen vzdálenost reakční doby řidiče při suché vozovce, zde mají nejlepší parametry LED světlometry. Průměrná hodnota osvětlenosti levého doplňkového prostoru převyšuje H4 světlometry o necelý 1 lx a o 0,5 lx potkávácí světlometry s H7 zdrojem. Je nutné si povšimnout, že i když mají H4 světlometry průměrně menší osvětlenosti, kritické hodnoty Ev při vzdálenosti 28 metrů jsou lepší než reflektory s H7. Při této situaci by řidič s automobilem používajícím zdroje H7 nebyl schopen zaregistrovat chodce či například zvěř v levém doplňkovém prostoru.

5.3.3 Vertikální osvětlenosti 1 m nad komunikací



Obrázek 39.: Vertikální osvětlenosti 1 m nad komunikací

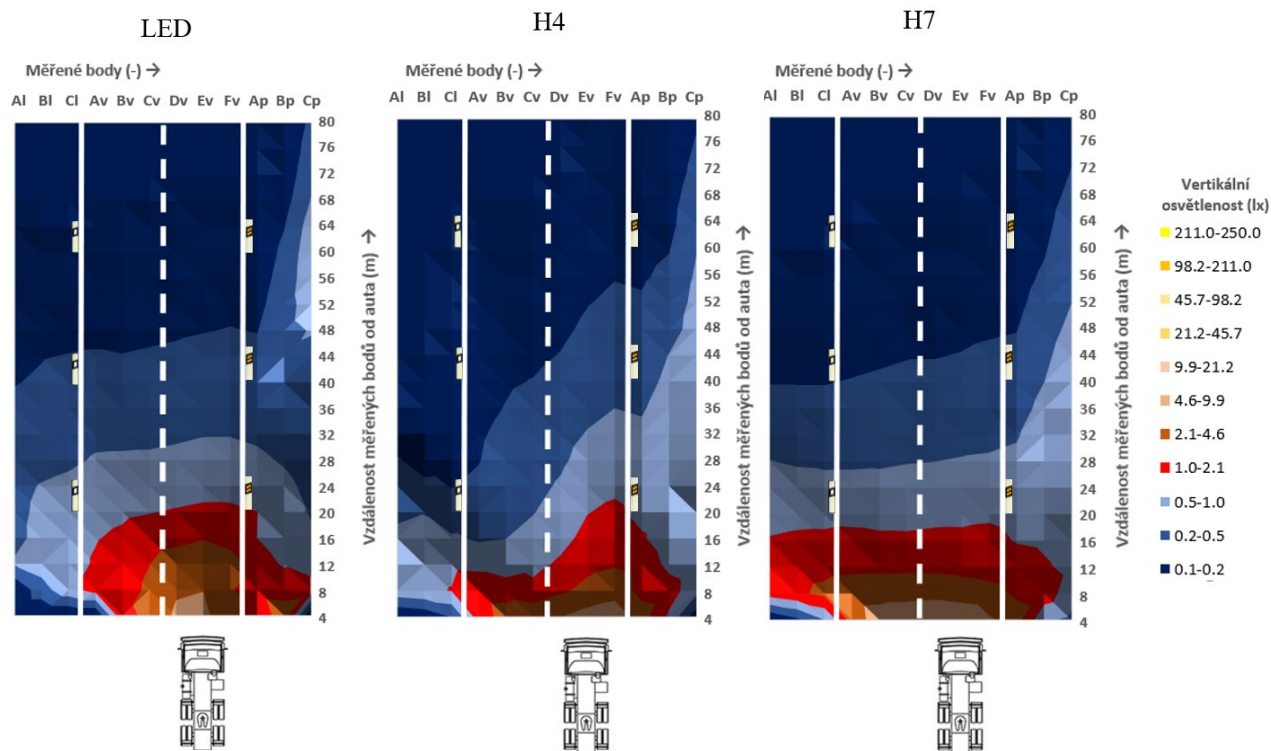
V této výškové úrovni mají největší dosvit levé strany komunikace světlomety H7, kde kritická vzdálenost dosahuje přibližně 22 m. Nastává situace, kdy by předmět či chodec nebyl ve všech případech vzhledem ke kritické dráze zastavení včas zaregistrován. V pravé části vozovky je Ev nejlepší u LED světlometu, který dosahuje až na vypočtenou vzdálenost 80 m.

Tabulka 16.: Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve výšce 1 m

Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve výšce 1 m (lx)									
	LED			H4			H7		
Vzdálenost (m)	Al	Bl	Cl	Al	Bl	Cl	Al	Bl	Cl
28	0.37	0.43	0.5	0.38	0.26	0.25	0.62	0.58	0.57
24	0.42	0.55	0.64	0.48	0.46	0.35	0.82	0.83	0.77
20	0.44	0.59	0.74	0.55	0.73	0.55	1.06	1.15	1.19
16	0.45	0.61	0.83	0.74	0.83	1.02	1.29	1.53	1.68
12	0.58	0.76	0.88	0.62	1.01	1.18	1.6	1.92	2.28
8	0.13	0.43	0.97	0.75	0.91	1.17	1.62	2.27	3.17
4	0	0.01	0.03	0.01	0.16	0.32	0.08	0.2	0.48
Průměrná hodnota (lx)	0.49			0.61			1.22		

Nejlepší hodnoty H7 světlometu potvrzuje i porovnání v tabulce 16. Nejen že světlomet H7 má nejlepší dosvit ve vzdálenosti 28 m od vozidla, ale předčí ostatní i svou průměrnou osvětleností prostoru, kterou má více než dvojnásobnou oproti ostatním použitým variantám.

5.3.4 Vertikální osvětlenosti 1,5 m nad komunikací



Obrázek 40.: Vertikální osvětlenosti 1,5 m nad komunikací

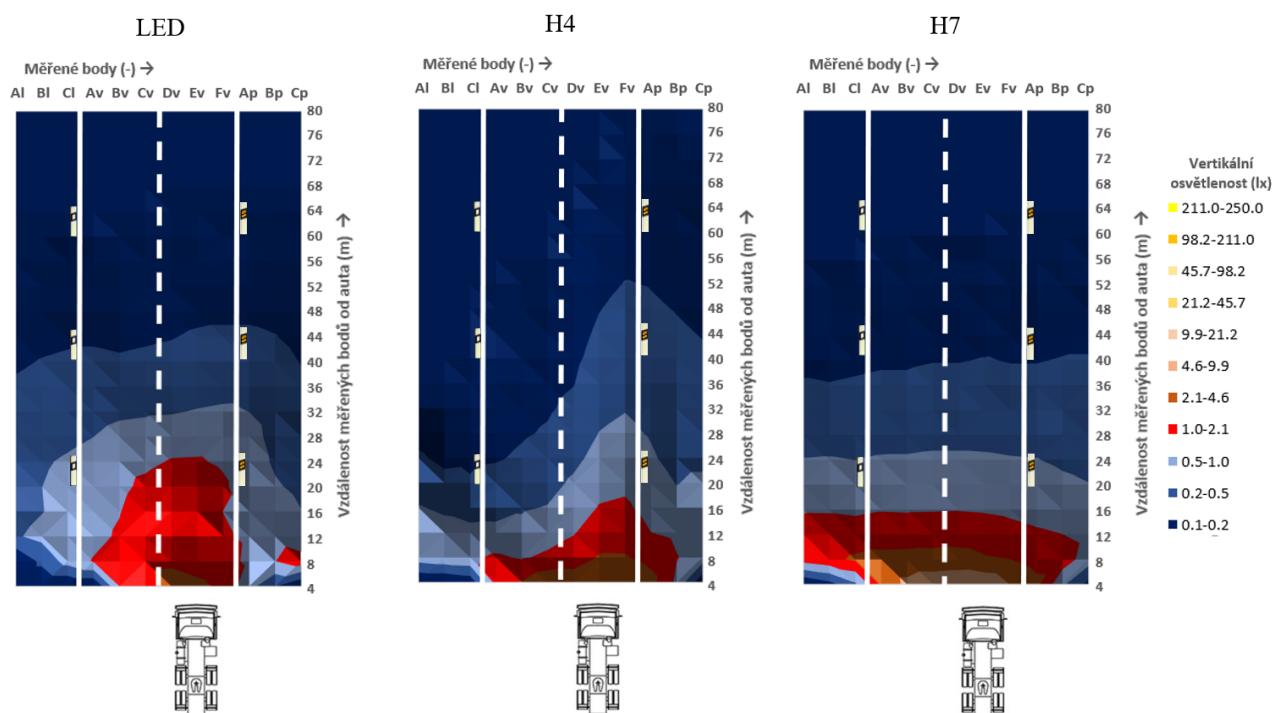
Zde už také nastávají hodnoty osvětlenosti, kde v žádném z porovnávaných případů nedosahuje kritická úroveň 1 luxu na 28 metrů. Maximální kritická osvětlenost je přibližně vypočtena na 20 m. O něco lepší je v tomto ohledu světlomet H7, díky kterému je ještě alespoň možné zaregistrovat levý doplňkový prostor. Tato úroveň je také velmi důležitá, jelikož jak je v teoretické části popsáno, od této výšky je umisťováno dopravní značení jak na pravé, tak levé straně komunikace. Řidič tedy nemůže včas zaregistrovat důležitou značku vypovídající o situaci v daném dopravním prostoru. Z hlediska viditelnosti předmětů na samotné komunikaci má LED světlomet nejlepší osvětlenosti dosahující téměř v celé své šířce vozovky 20 metrů.

Tabulka 17: Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve výšce 1,5 m

Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve výšce 1,5 m (lx)									
	LED			H4			H7		
Vzdálenost (m)	Al	Bl	Cl	Al	Bl	Cl	Al	Bl	Cl
28	0.33	0.37	0.41	0.23	0.16	0.17	0.47	0.43	0.42
24	0.39	0.48	0.54	0.35	0.25	0.21	0.62	0.61	0.56
20	0.4	0.52	0.64	0.37	0.45	0.29	0.8	0.84	0.83
16	0.4	0.55	0.73	0.61	0.57	0.51	1.04	1.11	1.14
12	0.49	0.66	0.73	0.56	0.83	0.87	1.34	1.6	1.75
8	0.11	0.34	0.78	0.75	0.87	1.02	1.37	1.86	2.57
4	0	0.01	0.03	0.01	0.12	0.22	0.07	0.18	0.46
Průměrná hodnota (lx)	0.42			0.45			0.96		

Jak je vidět v tabulce 17, H7 světlomet navazuje na osvětlenost v předešlé výškové úrovni. Pokud budeme brát v potaz nižší světle modré úrovně osvětlenosti 0,5-1 lx, zde dosahuje téměř 28 m.

5.3.5 Vertikální osvětlenosti 2 m nad komunikací



Obrázek 41.: Vertikální osvětlenosti 2 m nad komunikací

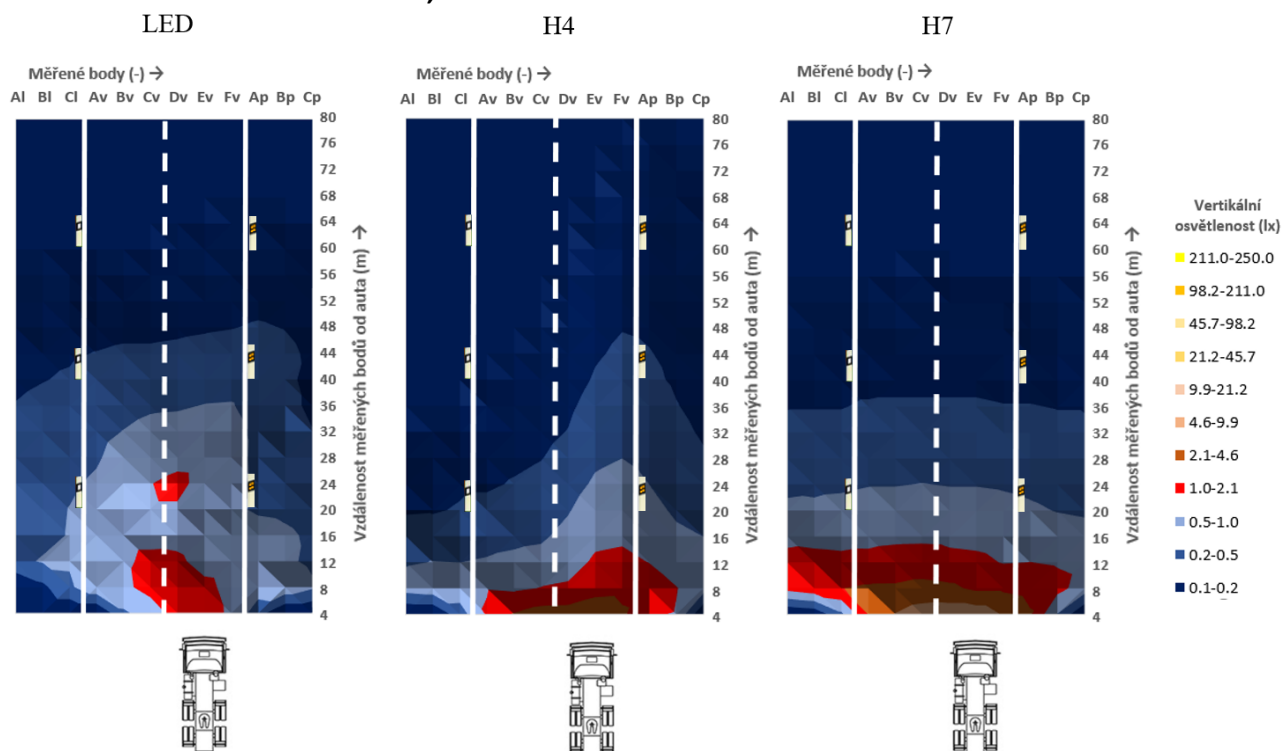
Je zajímavé, že v této úrovni se oproti níže umístěným rastrům zlepšila hodnota osvětlenosti u LED světlometu, která dosahuje až 24 metrů. Naopak H4 a H7 mají klesající tendenci na maximálních 16 metrů. U H7 zůstává tvar kritických hodnot stejný, tudíž je i z velké části osvětlen levý prostor. Co se týče ještě nižších 0,5-1 lx, dosahuje nejvyšších osvětlených vzdáleností přibližně 32 m v pravém jízdním pruhu LED světlomet. Z hlediska rozložení světelného toku ve všech částech komunikace a doplňkových prostor jsou světlomety s H7 a LED lepší než H4, který je orientován více na pravou část vozovky.

Tabulka 18.: Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve výšce 2 m

Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve výšce 2 m (lx)									
	LED			H4			H7		
Vzdálenost (m)	Al	Bl	Cl	Al	Bl	Cl	Al	Bl	Cl
28	0.31	0.35	0.4	0.17	0.14	0.15	0.37	0.36	0.36
24	0.36	0.43	0.5	0.24	0.18	0.19	0.47	0.48	0.46
20	0.37	0.46	0.55	0.24	0.27	0.23	0.65	0.63	0.65
16	0.36	0.45	0.59	0.49	0.4	0.31	0.94	0.93	0.87
12	0.43	0.56	0.56	0.5	0.64	0.6	1.3	1.44	1.47
8	0.09	0.26	0.62	0.68	0.82	0.88	1.36	1.79	2.37
4	0	0.01	0.02	0.01	0.04	0.13	0.06	0.16	0.4
Průměrná hodnota (lx)	0.37			0.35			0.83		

Jako v předchozích případech vynikají ve vyšších úrovních Ev, potkávací světlomety s H7 zdroji, které mají průměrnou hodnotu osvětlenosti až 0,83 lx. Jako nejhorší zdroj v tomto případě je možné určit H4, který i přes přibližně stejný průměr Ev sdílený s LED zaostává v úrovních příspěvku světelného toku do vzdálenosti 28 m od vozidla.

5.3.6 Vertikální osvětlenosti 2,5 m nad komunikací



Obrázek 42.: Vertikální osvětlenosti 2,5 m nad komunikací

Rozložení světelného toku v dopravním prostoru se oproti předchozí variantě moc neliší. Zde už převládají velmi tmavé úrovně Ev do maximálně 0,2 lx. LED světlomety ztrácí nad ostatními v oblasti hodnot 1 luxu, ale naopak v nižších osvětlenostech do 0,5 lx mají nejlepší rovnoměrnost po celé šířce hodnoceného prostoru. Nejvzdálenější osvětlený prostor 48 metrů sdílí společně s H4 světlometem. V hodnotách 0,5-1 lx je ovšem LED se svou osvětleností ve vzdálenosti 36 m nejlepší z porovnávaných světlometů.

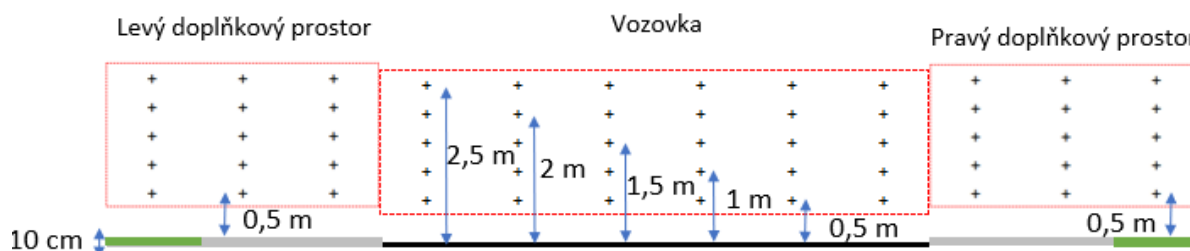
Tabulka 19: Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve výšce 2,5 m

Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve výšce 2,5 m (lx)									
	LED			H4			H7		
Vzdálenost (m)	Al	Bl	Cl	Al	Bl	Cl	Al	Bl	Cl
28	0.28	0.31	0.36	0.13	0.13	0.14	0.32	0.32	0.33
24	0.31	0.37	0.42	0.17	0.16	0.19	0.39	0.41	0.42
20	0.31	0.38	0.47	0.19	0.2	0.23	0.54	0.52	0.56
16	0.31	0.38	0.48	0.38	0.32	0.27	0.84	0.78	0.75
12	0.39	0.49	0.5	0.43	0.47	0.46	1.22	1.31	1.24
8	0.08	0.18	0.41	0.64	0.75	0.71	1.26	1.68	2.11
4	0	0.01	0.02	0.01	0.02	0.33	0.06	0.12	0.39
Průměrná hodnota (lx)	0.31			0.30			0.74		

Co se týče levého doplňkového prostoru porovnávaného v tabulce 19, zde stále vítězí H7 světlomety. Je pravda, že sdílí přibližně stejné osvětlenosti v kritických vzdálenostech 28 metrů, ale při bližších vypočtených hodnotách přesahuje LED tak, že má více než dvojnásobnou průměrnou osvětlenost posuzovaného prostoru.

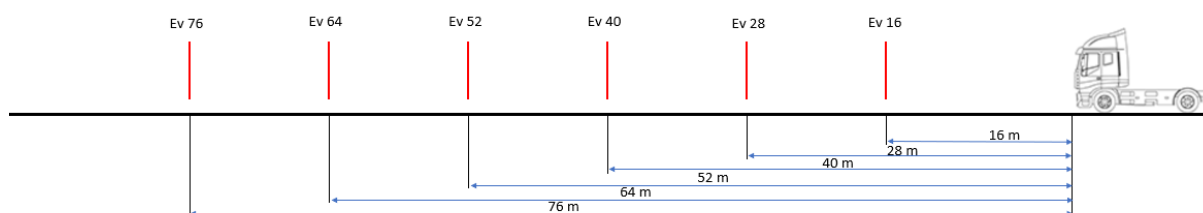
5.4 Návrh výpočtu kolmých rastrů

Pro ještě lepší popis osvětleností zmíněných světlometů byly do takto připravené komunikace vloženy další rastry neboli řezy orientované kolmo k automobilu se světlomety. Stejně tak jako předchozí horizontálně orientované měřící plochy byl vyvýšen doplňkový prostor o 10 cm. Všechny parametry automobilu nebo silnice zůstaly ve stejných polohách. Body pro výpočet v jednotlivých rastrech zůstaly taktéž ve stejných délkách. Kolmý rastr je podrobně popsán na obrázku 43.



Obrázek 43.: Kolmý rastr

Takto nastavené výpočtové body se poté duplikovaly i do dalších vzdáleností od vozidla s roztečí 12 metrů. Celkem bylo vytvořeno šest kolmých rastrů s roztečí 12 metrů až do vzdálenosti 76 metrů od přední masky vozidla. Na obrázku 44 jsou popsány všechny využití vzdálenosti.

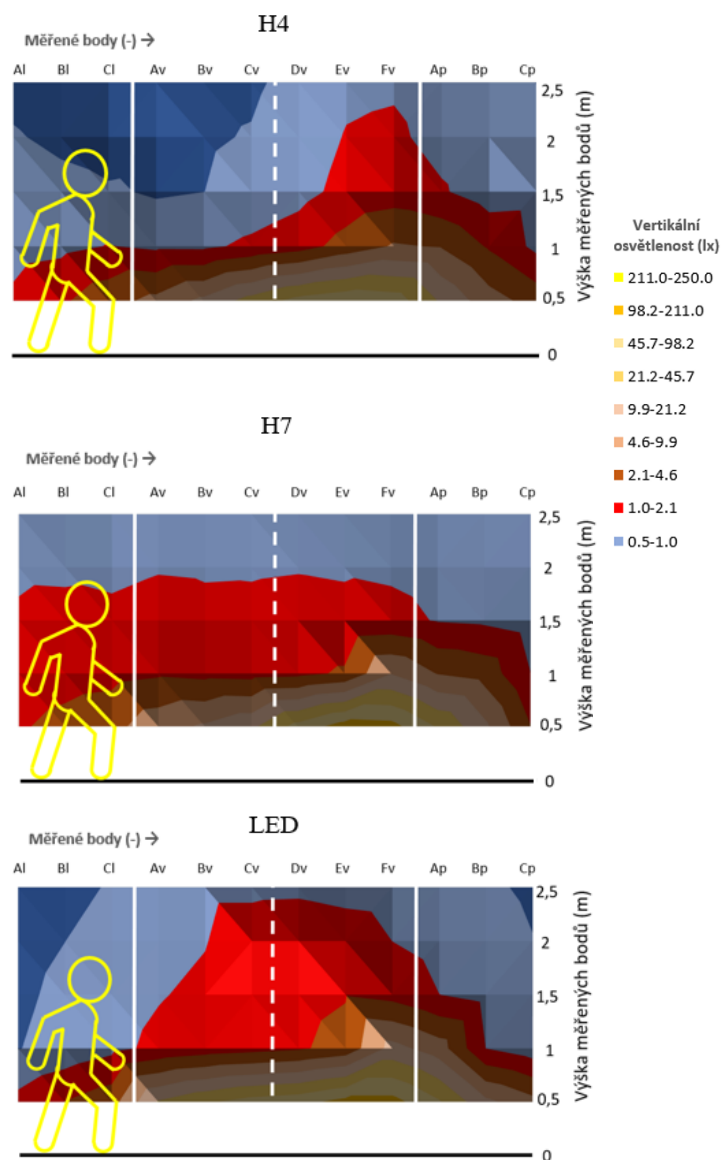


Obrázek 44.: Duplikované rastry hodnot

5.5 Výsledky a zhodnocení kolmých rastrů

Následně byly tak jako v předchozím případě výsledky vyneseny pomocí grafů. Měřítko zůstalo stejné tak jako při výpočtech vodorovných rastrů horizontální a vertikální osvětlenosti. Pro lepší představivost v grafech vypočtených kolmých rastrů byla zvolena žlutě vyznačená silueta připomínající chodce ve výšce přibližně 180 cm umístěna do levého doplňkového prostoru. Zvolená silueta chodce je diametrálně odlišná od skutečné postavy a překrývá téměř celý levý doplňkový prostor. Slouží tedy pouze jako pomůcka k lepší představivosti osvětlenosti chodce v nočním dopravním prostoru.

5.5.1 Vertikální osvětlenosti 16 metrů od vozidla



Obrázek 45.: Vertikální osvětlenosti 16 m od vozidla

Už na první pohled je zřejmé, že distribuce světelného toku je u všech porovnávaných světlometů velmi rozdílná. H4 je více orientovaný na prostor přímo před řidičem, kdežto LED je situována více ke středu vozovky. Nejlepší rovnoměrnost osvětlenosti celého prostoru má v tomto případě potkávací světlomet se zdrojem H7.

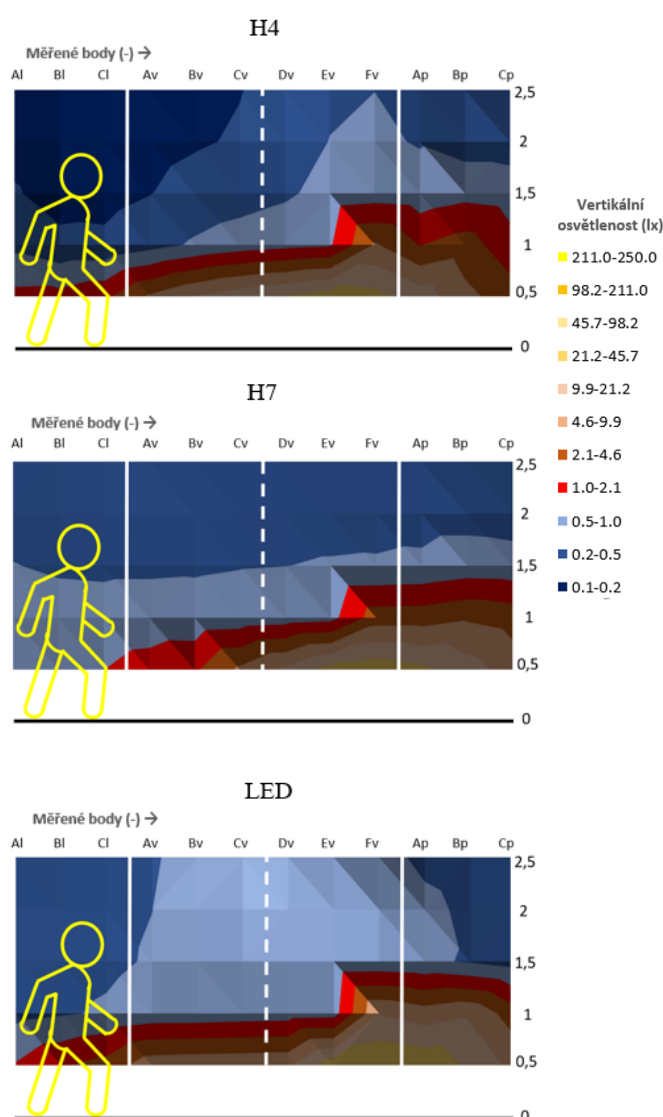
V nejbližším použitém řezu vyniká H7 také svojí osvětleností, kde hodnoty nad 1 lux dosahují až do výšky přibližně 1,8 metru. Chodec by byl v tomto případě zřetelně spatřen. Co se týče LED a H4, zde je osvětlenost levého doplňkového prostoru přibližně stejná do výšky pasu chodce.

Pokud porovnáme levý doplňkový prostor jednotlivých světlometů popsany v tabulce 20, průměrná osvětlenost celého prostoru je u H7 téměř dvakrát větší než u dalších dvou. H7 vyniká ve všech výškových hladinách. Při porovnávání zbylých světlometů se stejnou průměrnou osvětleností, je ve vyšším prostoru nepatrně lepší H4.

Tabulka 20.: Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve vzdálenosti 16 m

Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve vzdálenosti 16 m od vozidla									
	LED			H4			H7		
Výška (m)	Al	Bl	Cl	Al	Bl	Cl	Al	Bl	Cl
2,5	0.31	0.38	0.49	0.38	0.32	0.28	0.84	0.78	0.75
2	0.36	0.46	0.59	0.49	0.4	0.31	0.94	0.93	0.87
1,5	0.4	0.55	0.73	0.61	0.57	0.51	1.04	1.11	1.14
1	0.45	0.61	0.83	0.74	0.83	1.02	1.29	1.53	1.68
0,5	1.26	2.18	3.41	1.16	1.89	3.47	1.94	2.78	3.61
Průměrná hodnota (lx)	0.87			0.87			1.42		

5.5.2 Vertikální osvětlenosti 28 metrů od vozidla



Obrázek 46.: Vertikální osvětlenosti 28 m od vozidla

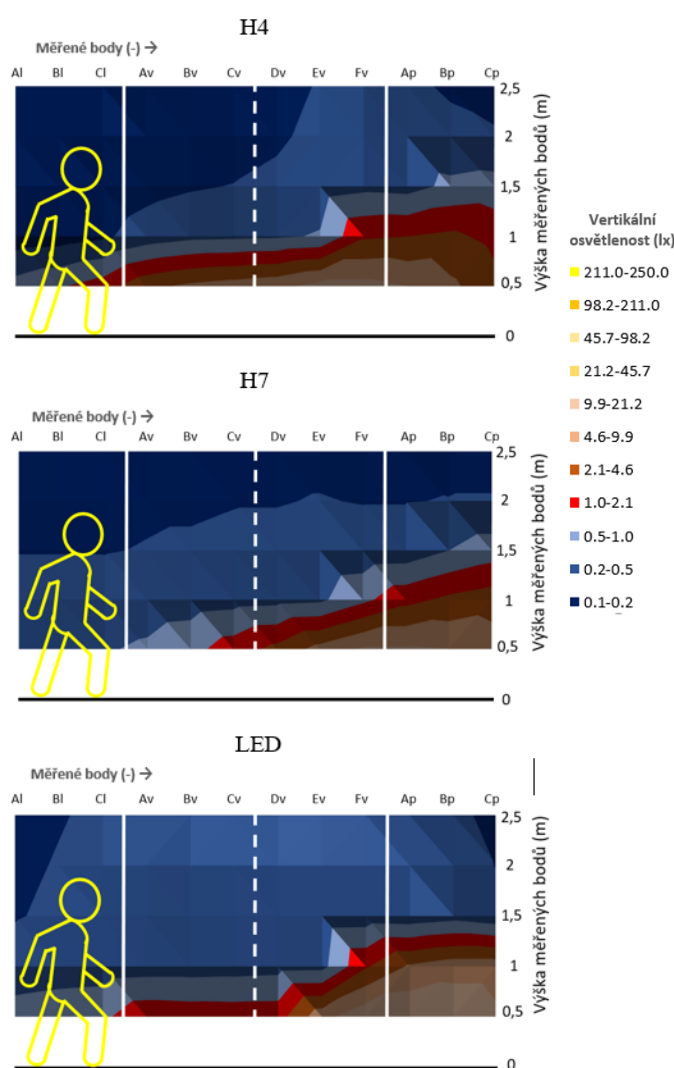
U všech porovnávaných zdrojů lze spatřit rameno osvětlenosti v polovině pravého jízdního pruhu, kde kritická osvětlenost nedosahuje ani 1,5 metru, tento jev je samozřejmě způsoben snahou zamezit oslňování protijedoucích vozidel. Nejhorší případ nastává u zdroje H7, a to z důvodu nedostačující osvětlenosti levého doplňkového prostoru. V tomto případě nebude při rychlosti 50 km/h chodec vzhledem k reakční době včas spatřen.

Pro porovnání levých doplňkových prostor v kritické vzdálenosti 28 metrů byla vytvořena tabulka 21. Z hodnot je patrné, že nejlepší osvětlenosti nastávají v oblasti 0,5 metrů nad komunikací. Nejlepší krajní hodnota $A_l = 1.23$ lx nastává u potkávacího světometu se zdrojem H4, ovšem pokud se bude brát v potaz celková osvětlenost prostoru, vyhrává LED.

Tabulka 21.: Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve vzdálenosti 28 m

Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve vzdálenosti 28 m od vozidla									
	LED			H4			H7		
Výška (m)	A_l	B_l	C_l	A_l	B_l	C_l	A_l	B_l	C_l
2,5	0.28	0.31	0.36	0.13	0.13	0.14	0.32	0.32	0.33
2	0.31	0.35	0.4	0.17	0.14	0.15	0.37	0.36	0.36
1,5	0.33	0.37	0.41	0.23	0.16	0.17	0.47	0.43	0.42
1	0.37	0.43	0.5	0.38	0.26	0.25	0.62	0.58	0.57
0,5	1.06	1.98	2.92	1.23	1.28	1.8	0.94	0.95	0.99
Průměrná hodnota (lx)	0.69			0.44			0.54		

5.5.3 Vertikální osvětlenosti 40 metrů od vozidla



V této vzdálenosti je vidno, že chodce lze už jen částečně spatřit pomocí H4 světlometu v oblasti nohou. I celkové hodnoty osvětlenosti hrají ve prospěch zmíněného světlometu. Nejhorší parametry nastávají u H7 zdroje. U nižších hodnot osvětleností než 1 lux je možné říct, že potkávací světlomet s LED zdrojem dokáže alespoň částečně osvětlit celou komunikaci s doplňkovými prostory. Pokud porovnáme podle tabulky 22 jednotlivé průměrné příspěvky světelného toku v levém doplňkovém prostoru, výsledky nedosahují ani hodnot 0,5 lx.

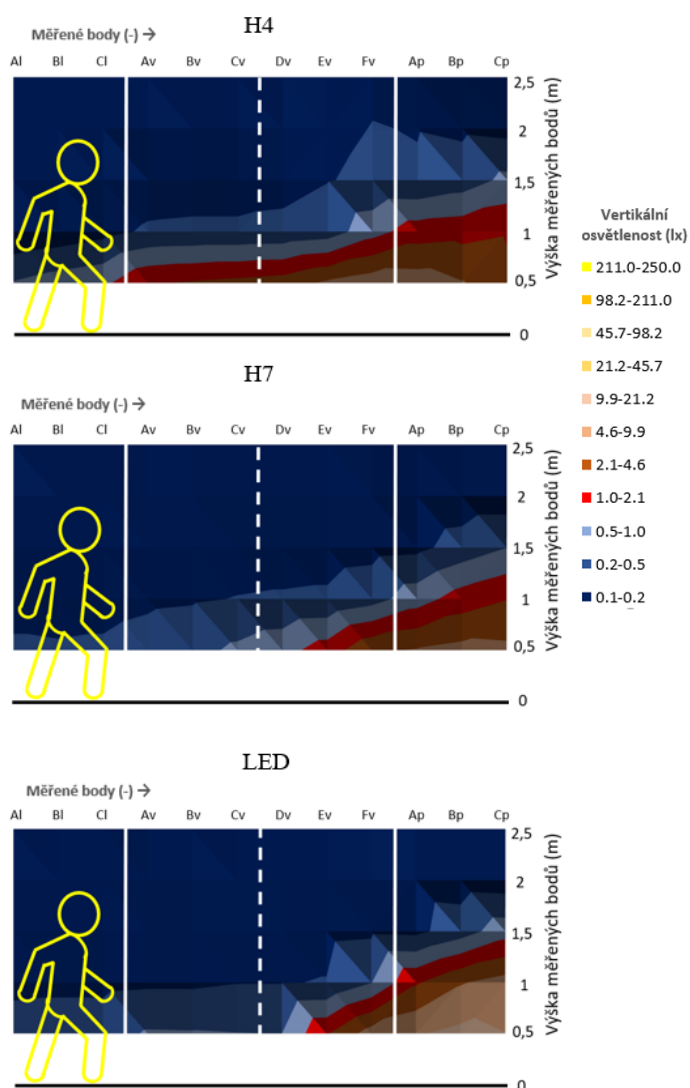
Rozložení světelného toku v pravém prostoru se zdá být přibližně stejné, dosahující téměř 1,5 metru.

Obrázek 47.: Vertikální osvětlenosti 40 m od vozidla

Tabulka 22.: Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve vzdálenosti 40 m

Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve vzdálenosti 40 m od vozidla									
Výška (m)	LED			H4			H7		
	Al	Bl	Cl	Al	Bl	Cl	Al	Bl	Cl
2,5	0.19	0.21	0.23	0.07	0.08	0.09	0.17	0.17	0.18
2	0.2	0.22	0.23	0.08	0.09	0.1	0.18	0.18	0.19
1,5	0.21	0.23	0.26	0.09	0.11	0.13	0.21	0.21	0.21
1	0.25	0.29	0.31	0.14	0.15	0.19	0.28	0.28	0.27
0,5	0.73	0.82	0.86	0.63	0.92	1.41	0.42	0.42	0.43
Průměrná hodnota (lx)	0.35			0.29			0.25		

5.5.4 Vertikální osvětlenosti 52 metrů od vozidla



Obrázek 48.: Vertikální osvětlenosti 52 m od vozidla

Zde nastává velký propad H7 a LED světlometu v levé straně vozovky a doplňkového prostoru. Pokud by chodec vstoupil do vozovky z levé strany v této vzdálenosti, řidič by ho nebyl schopen za žádných okolností spatřit.

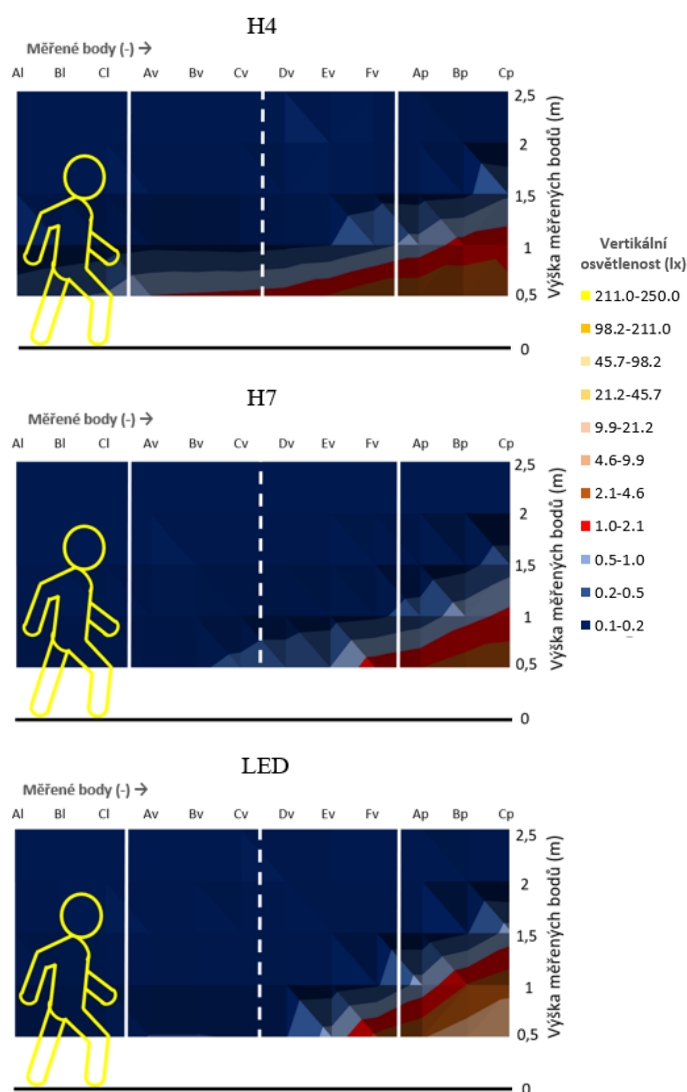
Z porovnání v tabulce 23 je patrné, že nejvíce osvětluje levý prostor H4 světlomet, u kterého je vypočtena maximální hodnota 0,84 lx v měřeném pásu bodů C_i. Díky této hodnotě vyniká nad ostatními i svou průměrnou osvětleností celého prostoru.

Komunikace je osvětlena zase nejlépe u H4. Ovšem co se týče pravého doplňkového prostoru, zde vyniká svojí Ev LED světlomet dosahující kritické úrovně ve výšce 1,5 m.

Tabulka 23.: Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve vzdálenosti 52 m

Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve vzdálenosti 52 m od vozidla									
	LED			H4			H7		
Výška (m)	A _i	B _i	C _i	A _i	B _i	C _i	A _i	B _i	C _i
2,5	0.13	0.13	0.14	0.05	0.06	0.07	0.11	0.11	0.11
2	0.13	0.14	0.14	0.06	0.07	0.08	0.11	0.12	0.12
1,5	0.15	0.15	0.15	0.08	0.09	0.11	0.13	0.13	0.13
1	0.17	0.18	0.18	0.11	0.13	0.17	0.17	0.17	0.17
0,5	0.33	0.33	0.32	0.49	0.68	0.84	0.24	0.23	0.24
Průměrná hodnota (lx)	0.18			0.21			0.15		

5.5.5 Vertikální osvětlenosti 64 metrů od vozidla



Obrázek 49.: Vertikální osvětlenosti 64 m od vozidla

Tabulka 24:.. Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve vzdálenosti 64 m

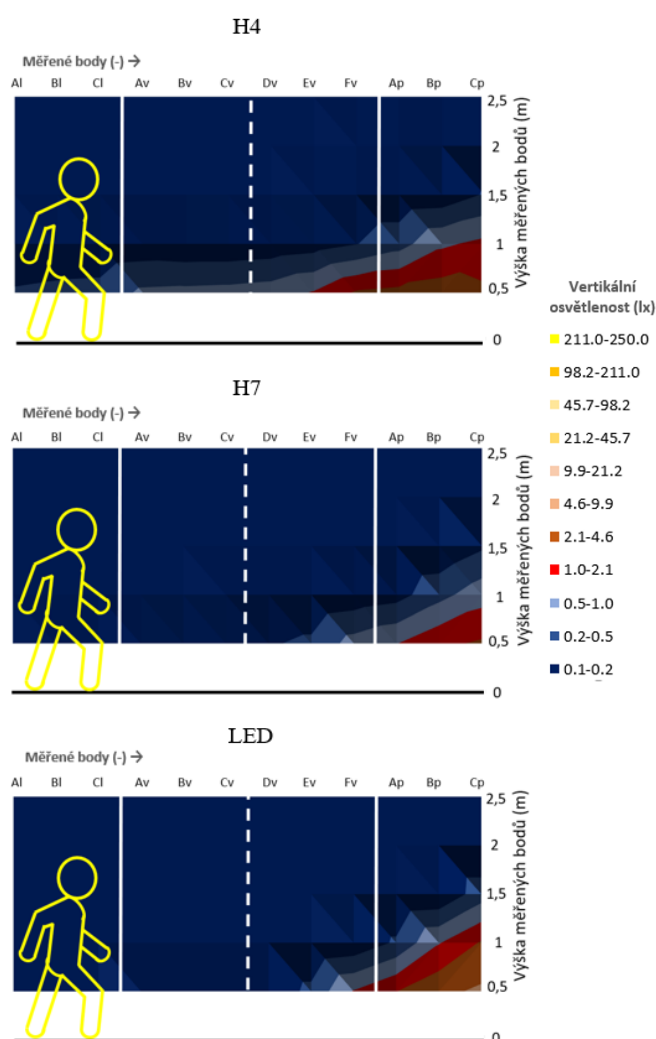
Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve vzdálenosti 64 m od vozidla									
	LED			H4			H7		
Výška (m)	Al	Bl	Cl	Al	Bl	Cl	Al	Bl	Cl
2,5	0.09	0.09	0.08	0.05	0.05	0.06	0.07	0.07	0.08
2	0.09	0.09	0.09	0.05	0.06	0.07	0.08	0.08	0.08
1,5	0.11	0.1	0.1	0.07	0.08	0.1	0.09	0.09	0.09
1	0.12	0.12	0.12	0.1	0.13	0.15	0.11	0.11	0.12
0,5	0.18	0.17	0.17	0.37	0.43	0.5	0.15	0.15	0.16
Průměrná hodnota (lx)	0.11			0.15			0.10		

Nastává klesající tendence jako v předchozích grafech, kde alespoň částečně stále osvětluje celou komunikaci H4 světlomet. Co se týče pravých doplňkových prostorů, je zde také na velmi dobré úrovni v porovnání s ostatními.

Ovšem u pravého doplňkového prostoru vyniká LED světlomet. Je ale nutno říct, že i přes lepší hodnoty Ev by nebyl řidič schopen zaregistrovat dopravní značení určující například změnu rychlosti či upozornění na překážku na komunikaci.

Podle tabulky 24 je jasné, že v tomto případě už do levého doplňkového prostoru směřuje jen velmi mále množství světelného toku. Největší hodnota 0,5 lx nastává u H4 světlometu ve výšce 0,5 metru nejbliže k vozovce.

5.5.6 Vertikální osvětlenosti 76 metrů od vozidla



Obrázek 50.: Vertikální osvětlenosti 76 m od vozidla

Z grafů této oblasti už není možné vyčíst mnoho informací. Nastává velký útlum všech osvětleností. Je alespoň možné částečně zaregistrovat předměty či chodce v úrovních kolem jednoho metru v pravém doplňkovém prostoru.

Z tabulky 25 lze vyčíst, že stálé v této oblasti vede H4 světlo. Ovšem osvětlenost v těchto vzdálenostech je už zanedbatelná.

Co je alespoň dobré podotknout, je osvětlenost v pravém prostoru, ve kterém by byl ještě chodec překvapivě spatřen. Pokud by nastala situace při zasněžené vozovce, kde reakční doba řidiče je přibližně 78 metrů, zde by byl řidič schopen zastavit automobil a zabránit vzniku tragické nehody.

Tabulka 25.: Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve vzdálenosti 76 m

Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve vzdálenosti 76 m od vozidla									
	LED			H4			H7		
Výška (m)	Al	BI	CI	Al	BI	CI	Al	BI	CI
2,5	0.06	0.06	0.06	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06
2	0.07	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
1,5	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07
1	0.08	0.08	0.08	0.09	0.11	0.12	0.08	0.08	0.09
0,5	0.1	0.1	0.1	0.24	0.27	0.28	0.1	0.11	0.11
Průměrná hodnota (lx)	0.07			0.11			0.08		

6 Optimalizace nočního dopravního prostoru pomocí různých kombinací veřejného osvětlení a automobilových potkávacích světlometů

Pro další simulaci v praktické části byla do takto navržené situace provedena optimalizace osvětlenosti komunikace pomocí veřejného osvětlení se dvěma různými variantami svítidel. Do předchozí situace s LED světlomety bylo vloženo veřejné osvětlení s LED svítidly a následně byl vypočítán jeho vliv na osvětlenost v nočním dopravním prostoru. Poté se LED svítidla nahradila vysokotlakými sodíkovými výbojkami, dále jen NAV. Výpočet byl prováděn stejným způsobem jako při soustavě s potkávacími světlomety a následně byl vliv různých druhů svítidel zhodnocen.

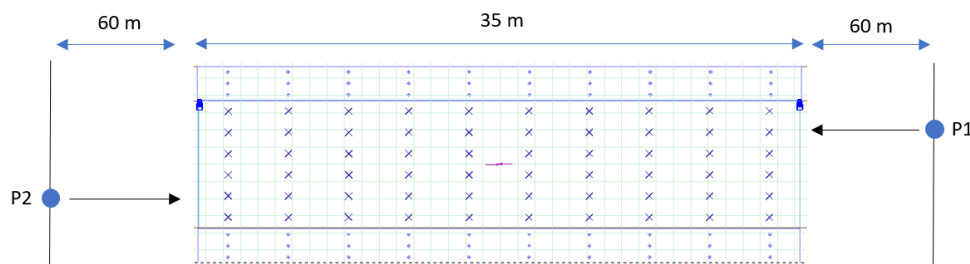


Obrázek 51.: Ilustrační obrázek navržené situace

6.1 Návrh veřejného osvětlení

Jedním z nejčastějších a nejlevnějších variant montáže veřejného osvětlení je jednostranné umístění, proto bylo zvoleno i právě v této práci. Aby bylo dosaženo co nejlepšího porovnání osvětlenosti vložených svítidel, bylo nutné navrhnout osvětlovací soustavu tak, aby odpovídala požadované úrovni osvětlenosti komunikace a doplňkových prostor pro obě varianty. Svítidla byla umístěna do výšky 9 metrů nad komunikaci a rozteče 35 metrů na pravé straně vozovky z pohledu příjezdějícího vozidla. Svítidla byla umístěna v komunikaci 0,7 m od krajnice.

Po takto nastavených parametrech umístění VO byl vytvořen rastr komunikace a doplňkových prostor pro kontrolní výpočet jasu jak pro LED svítidla, tak pro NAV. Pro parametry silnice byl nastaven index R3, který je typický pro několik měsíců staré asfaltové povrchy s hrubou strukturou a tmavším povrchem. Poloha pozorovatelů P1 a P2 je automaticky určena programem Dialux na hodnotu 60 metrů od okraje výpočtového prostoru ve výšce 1,5 metru pro oba jízdní pruhy. Jednotlivé měřící body rastru jsou rozmístěny podle dříve zmíněné normy ČSN EN 13201-3. Silnice je navržena pro suchý povrch.



Obrázek 52.: Rastr zatřídění VO

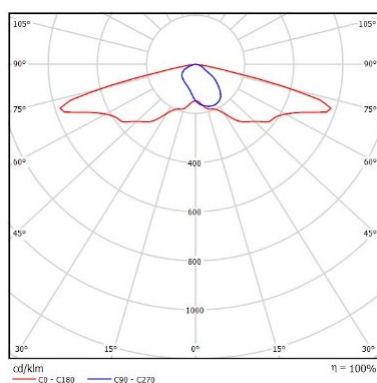
6.1.1 Popis svítidel

Porovnávaná svítidla byla vybrána s různými světelnými zdroji. První situace je řešena s LED svítidlem od firmy Thorn Lighting se symetrickou křivkou svítivosti a rovným sklem. Jedná se o malé svítidlo s 36 LED zdroji napájené 500 mA a optikou určenou pro širší ulice. Jako všechna LED svítidla vyniká svým měrným světelným výkonem. Pro další variantu je zvoleno osvětlení od firmy Schröder, konkrétně se jedná o typ MC2, který se taktéž vyznačuje svou symetrickou křivkou svítivosti určenou pro komunikace. Jako zdroj je používána vysokotlaká sodíková výbojka o příkonu 100 W. Pro výpočet byla u obou variant nastavena hodnota udržovacího činitele 0,7, což odpovídá osvětlovací soustavě, která je na pokraji své životnosti. Níže jsou popsány další parametry svítidel.

Parametry svítidel

Výrobce	Thorn
Typ	R2L2
Příkon	55 W
Světelný tok	8235 lm
Tc	4000 K
Ra	>70
Světelný výkon	150 lm/W

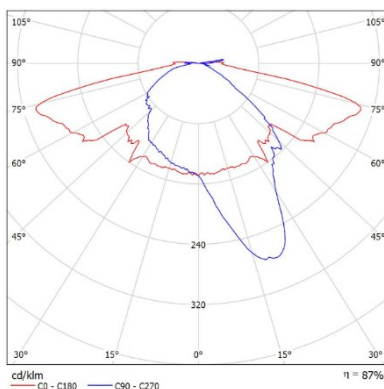
Křivky svítivosti



Design



Výrobce	Schröder
Typ	MC2
Příkon	100 W
Světelný tok	10700 lm
Tc	2000 K
Ra	25
Světelný výkon	107 lm/W



Obrázek 53.: Parametry VO [22][23]

6.1.2 Zatřídění komunikace

Výsledné parametry výpočtu dosahují přijatelných hodnot jasu u obou typů svítidel k zatřídění komunikace na úroveň M4, která byla pro tuto práci vybrána. Jak je vidět z tabulek 26 a 27, o něco lepší výsledky jasu dosahuje LED technologie. Ovšem rovnoměrnost osvětlenosti vychází lépe pro vysokotlaké sodíkové výbojky. Prahový přírůstek F_{Ti} u zdroje s výbojkou určující úroveň oslnění je na svém přijatelném maximu, kdežto LED má o jedno procento lepší hodnoty. Činitel osvětlenosti okolí R_{EI} je v tomto případě orientační, protože jsou pro posuzování osvětlenosti doplňkových prostor použity další měřicí rastry než samotné komunikace. I přes to ale i tento parametr splňuje podmínky dané normou.

Tabulka 26: Vypočtené hodnoty jasu komunikace s NAV VO

Jas suchého povrchu pozemní komunikace NAV VO					
	L (cd/m²)	U₀ (-)	U₁ (-)	F_{Ti} (%)	R_{EI}
Pozorovatel 1 (P1)	0,8	0,83	0,86	15	0,53
Pozorovatel 2 (P2)	0,75	0,66	0,69	15	0,53

Tabulka 27: Vypočtené hodnoty jasu komunikace s LED VO

Jas suchého povrchu pozemní komunikace LED VO					
	L (cd/m²)	U₀ (-)	U₁ (-)	F_{Ti} (%)	R_{EI}
Pozorovatel 1 (P1)	1,04	0,7	0,65	14	0,46
Pozorovatel 2 (P2)	0,77	0,55	0,61	14	0,46

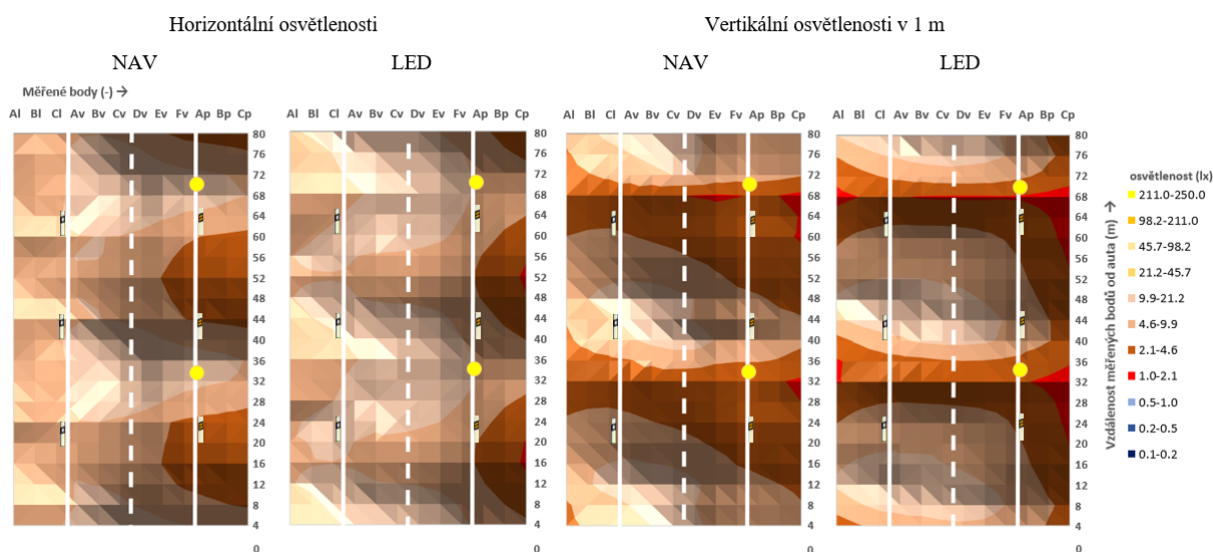
Osvětlovací soustava byla navržena tak, aby odpovídala nejen třídě komunikace M4, ale i třídě doplňkových prostor, konkrétně P4. Dosažení této úrovně osvětlenosti nebylo těžké. Hodnoty vodorovné neboli horizontální osvětlenosti jak pravého, tak levého doplňkového prostoru výrazně převyšují nároky pro určenou třídu. U pravého doplňkového prostoru LED VO se podle tabulky tříd popsané v teoretické části dostáváme dokonce až o úroveň výš.

Tabulka 28: Vypočtené hodnoty osvětlenosti doplňkových prostor

	Vodorovná osvětlenost E_h			
	LED		NAV	
	E (lx)	E_{min} (lx)	E (lx)	E_{min} (lx)
Levý doplňkový prostor	9,39	6,31	6,18	2,56
Pravý doplňkový prostor	5,56	2,71	7,94	5,99

Pro ještě lepší přehlednost byla takto navržená soustava vložena do měřících rastrů použitých pro zjišťování osvětlenosti různých druhů světlometů. Následně byly vytvořeny grafy horizontální a vertikální osvětlenosti v 1 metru.

6.1.3 Horizontální a vertikální osvětlenosti VO

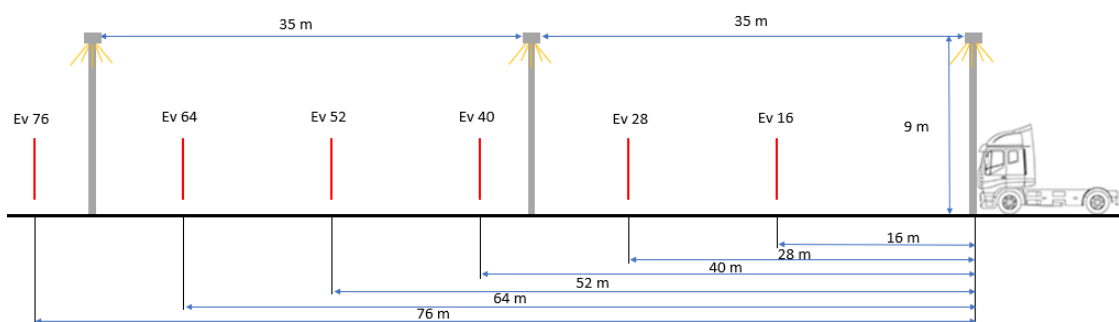


Obrázek 54.: Horizontální a vertikální osvětlenost VO v 1 m

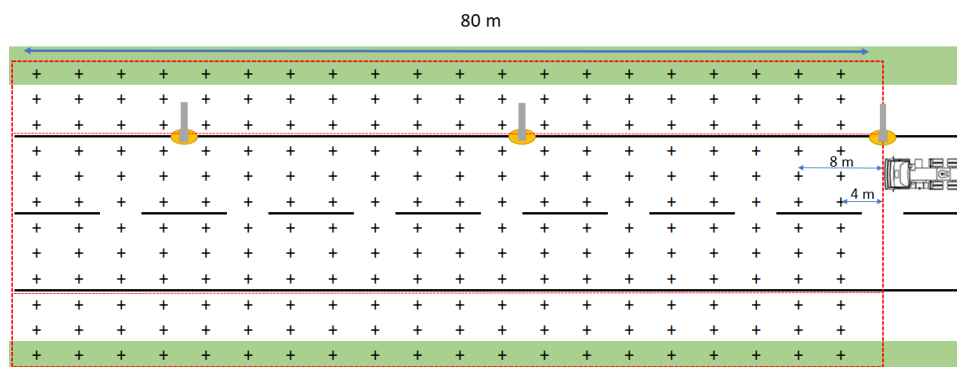
Z porovnání horizontální a vertikální osvětlenosti je patrné, že hodnoty jsou přibližně stejné. Je ovšem nutné upozornit na fakt, že LED svítidla mají téměř o polovinu menší příkon než vysokotlaké sodíkové výbojky, a i přesto dosahují lepších hodnot osvětleností. Na druhou stranu i když se zdá, že LED svítidla mají lepší parametry a v horizontální oblasti lepší rovnoměrnost, opak je pravdou. Důležitější roli v oblasti pozemní komunikace hraje vertikální osvětlenost. Už při výšce 1 metru lze spatřit kritické hodnoty luxů v oblastech doplňkových prostor, kde u NAV jsou hodnoty osvětlenosti z hlediska rovnoměrnosti lepší než u LED. Tato situace nastává v mnoha případech i na reálných komunikacích. Většinou pozorovatel subjektivně vnímá horizontální osvětlenost jako správný ukazatel pro viditelnost v nočním dopravním prostoru. Tím může nabýt dojmu, že je veřejné osvětlení správně navrženo, což nemusí být úplně pravda. Ve vertikální osvětlenosti komunikace můžou vznikat tzv. slepé skvrny a chodec či předmět nemusí být v dopravním prostoru vůbec spatřen.

6.2 Návrh soustavy VO s LED světlometry

Pro další porovnání veřejných osvětlení byl do navržené soustavy vložen jen automobil s LED světlometry a následně byl proveden výpočet vertikálních osvětleností tak jako v předchozích variantách. Soustava navržená výše byla vložena do připravených rastrů z dřívějšího výpočtu osvětlenosti komunikace s potkávacími světlometry. Taktéž byl zachován udržovací činitel obou druhů osvětlení, u VO byla hodnota nastavena na 0,7, zatímco u světlometu na nejvyšší hodnotu 1. Umístění svítidel s jejich roztečí je popsáno na obrázcích níže. Zkoumal se, jak vliv světlometů na vertikální složku správně osvětleného prostoru komunikace, tak samotné veřejné osvětlení ve vyšších výškových úrovních.



Obrázek 55.: Rozmístění VO s kolmými rastry

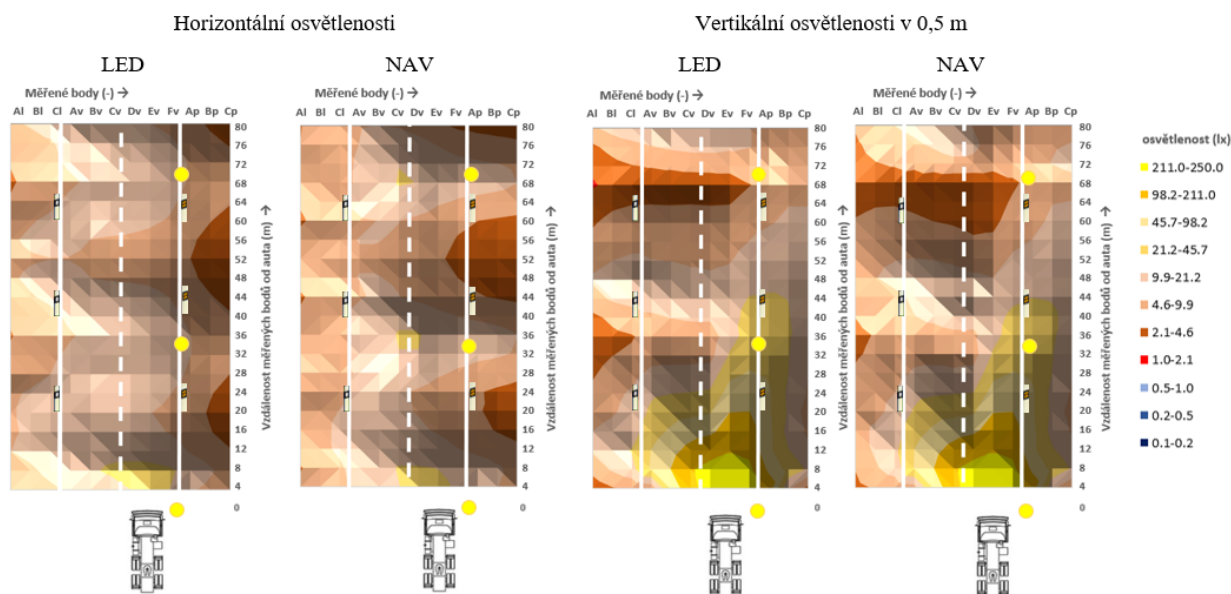


Obrázek 56.: Rozmístění VO s rastrem horizontální a vertikální osvětlenosti

6.3 Výsledky a zhodnocení soustavy VO s LED světlometry

Ve vytvořených grafech je vedle sebe porovnávána vertikální osvětlenost veřejného osvětlení se světelnými zdroji LED a NAV. Do grafů vertikálních osvětleností jsou dále pro lepší orientaci umístěny žlutě vyznačené pozice veřejného osvětlení. Stejně tak byly ponechány siluety chodce v levém doplňkovém prostoru ve vypočtených řezech.

6.3.1 Horizontální a vertikální osvětlenosti VO s LED světlometry v 0,5 m



Obrázek 57.: Horizontální a vertikální osvětlenosti VO s LED světlometry v 0,5 m

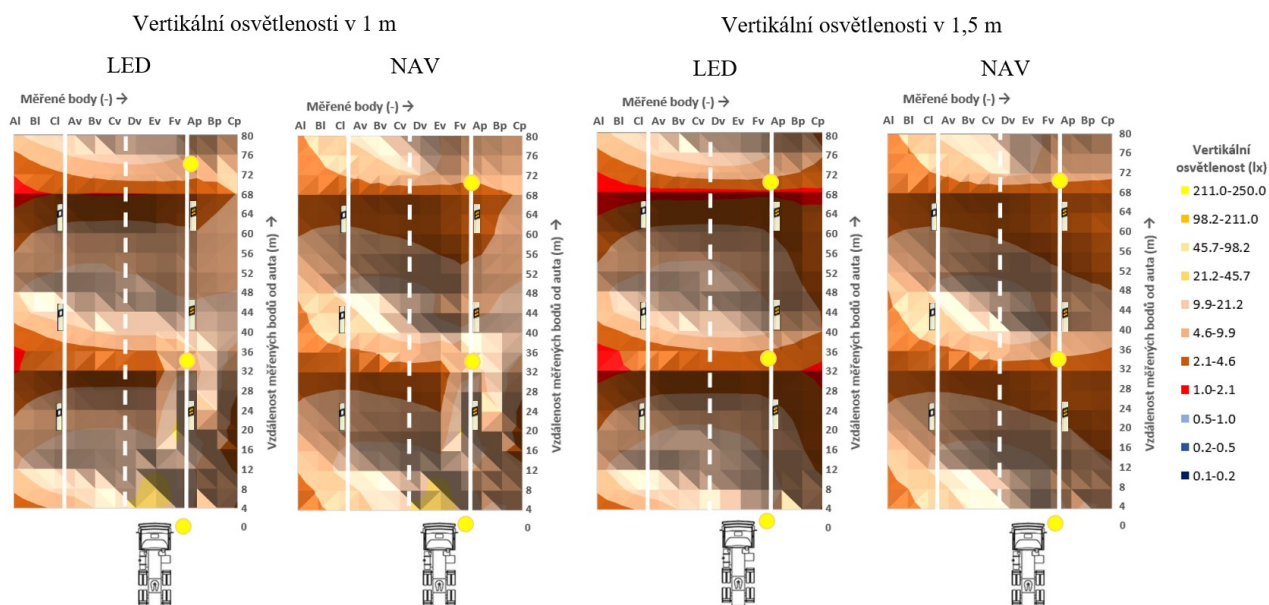
V oblastech horizontální osvětlenosti není viditelnost s příspěvkem automobilových světlometů moc ovlivněna. Co se týče vertikální osvětlenosti, nastává velký obrat k lepšímu. Výrazné zlepšení se týká hlavně pravého doplňkového prostoru, ve kterém nejsou žádné stopy po nižších osvětlenostech než 4,6 luxů. Levý doplňkový prostor se zdá být lepší u svítidel osazených výbojkami. Ovšem na komunikaci osvětlené NAV zdroji vzniká ve vzdálenosti přibližně 64 metrů větší pole s nižšími luxy.

Jako v předchozích případech byla vytvořena tabulka 29 pro porovnání horizontální osvětlenosti pravého jízdního pruhu a vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru do vzdálenosti 28 metrů. V horizontální oblasti je LED svítidlo ve všech směrech lepší než druhé porovnávané svítidlo. Co se týče E_v , zde má také průměrnou hodnotu osvětlenosti prostoru větší než výbojka, ovšem ve vzdálenosti 28 metrů dosahuje NAV zdroj v měřených bodech A_l a B_l lepších hodnot.

Tabulka 29: E_h a E_v levého doplňkového prostoru VO s LED světlometry v 0,5 m

Vzdálenost (m)	Horizontální osvětlenost(lx)						Vertikální osvětlenost v 0,5 m (lx)					
	LED			NAV			LED			NAV		
	Dv	Ev	Fv	Dv	Ev	Fv	Al	Bl	Cl	Al	Bl	Cl
28	5.32	7.31	9.86	4.95	6.19	8.15	4.26	6.29	7.85	4.99	6.39	7.43
24	8.62	11	13	4.9	6.36	8.53	5.43	8.11	11	5.8	7.71	9.77
20	9.43	11	12	6.38	8.42	10	7.1	9.05	13	7.03	8.23	12
16	9.12	11	12	6.67	8.61	11	9.97	13	15	7.64	11	14
12	9.8	12	14	5.99	8.5	11	11	17	22	6.48	11	18
8	6.19	8.78	12	4.42	6.34	9.08	5.99	11	17	4.74	8.85	14
4	4.98	6.7	8.68	5.16	6.51	8.41	2.85	4.32	5.43	3.72	5.01	6.12
Průměrná hodnota (lx)	9.66			7.41			9.84			8.57		

6.3.2 Vertikální osvětlenosti VO s LED světlometry v 1 a 1,5 m



Obrázek 58.: Vertikální osvětlenosti VO s LED světlometry v 1 a 1,5 m

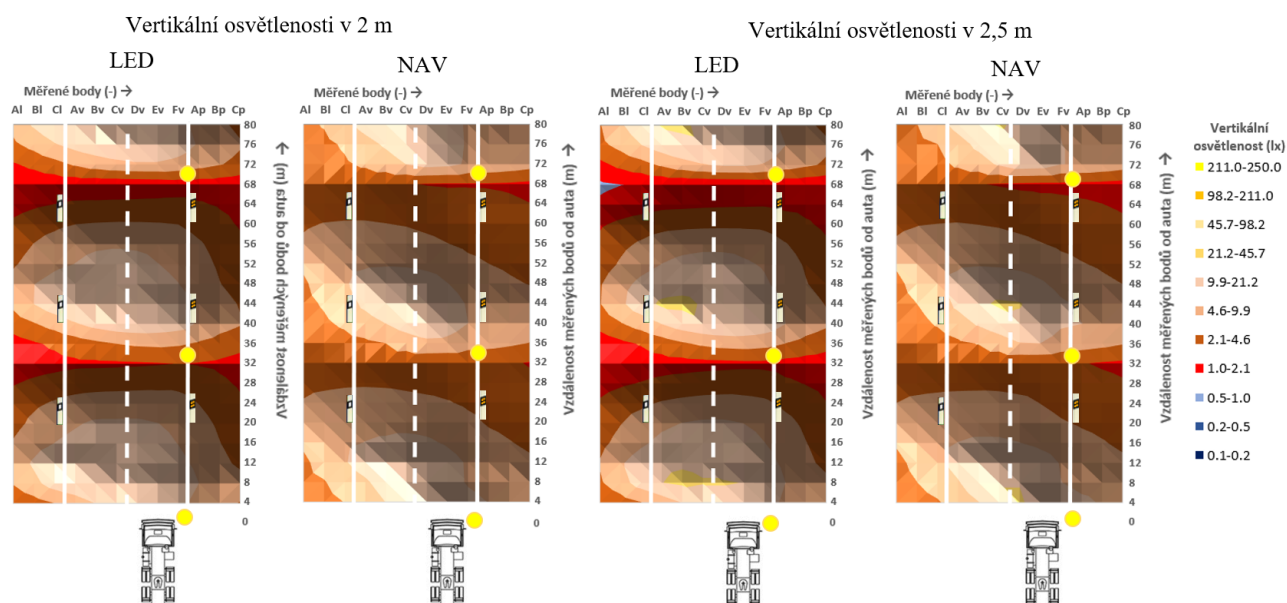
V úrovních jednoho metru už začíná být levý doplňkový prostor u LED svítidel daleko horší, a to z důvodu dramatických změn úrovní osvětlenosti a vzniku kritických hodnot luxů. Rovnoměrnost v oblasti komunikace a pravého prostoru je na velmi dobré úrovni. O půl metru výše se prohlubují kritické úrovně LED osvětlení už i do oblasti komunikace a pravého prostoru.

Jak už bylo zmíněno i když vypočtené hodnoty průměrné osvětlenosti vychází v těchto výškových úrovních lépe ve prospěch LED svítidel, ve vzdálenostech 28 až 36 metrů vznikají kritické hodnoty osvětlenosti. To je způsobeno umístěním začátku uspořádání svítidel v linii s automobilem, je tedy možné říci, že se jedná o jednu z horších variant příkladové studie. Co se týče svítidel s výbojkami, díky své lepší rovnoměrnosti mají i lepší osvětlenost v nejvzdálenějším hodnoceném úseku.

Tabulka 30.: Ev levého doplňkového prostoru VO s LED světlometry v 1 a 1,5 m

	Vertikální osvětlenost v 1 m (lx)						Vertikální osvětlenost v 1,5 m (lx)					
	LED			NAV			LED			NAV		
Vzdálenost (m)	AI	BI	CI	AI	BI	CI	AI	BI	CI	AI	BI	CI
28	3.19	4.06	4.72	4.28	4.63	4.81	2.68	3.36	3.9	4.14	4.42	4.57
24	4.44	5.94	7.18	5.23	5.94	6.18	3.84	5.11	6.25	5.14	5.73	5.95
20	5.65	7.49	8.99	6.16	7.24	8.1	4.84	6.7	8.47	5.99	7.04	7.92
16	8.18	11	12	6.48	8.62	11	6.84	9.4	11	6.06	8.02	9.99
12	9.93	15	18	5.65	8.63	13	8.62	14	18	5.18	7.98	12
8	5.52	8.49	12	3.82	5.69	8.1	5.37	8.66	13	3.53	5.21	7.47
4	2.75	3.86	5.08	3.53	4.71	5.79	2.65	3.61	4.9	3.37	4.3	5.67
Průměrná hodnota (lx)	7.78			6.55			7.20			6.18		

6.3.3 Vertikální osvětlenosti VO s LED světlotety v 2 a 2,5 m



Obrázek 59.: Vertikální osvětlenosti VO s LED světlotety v 2 a 2,5 m

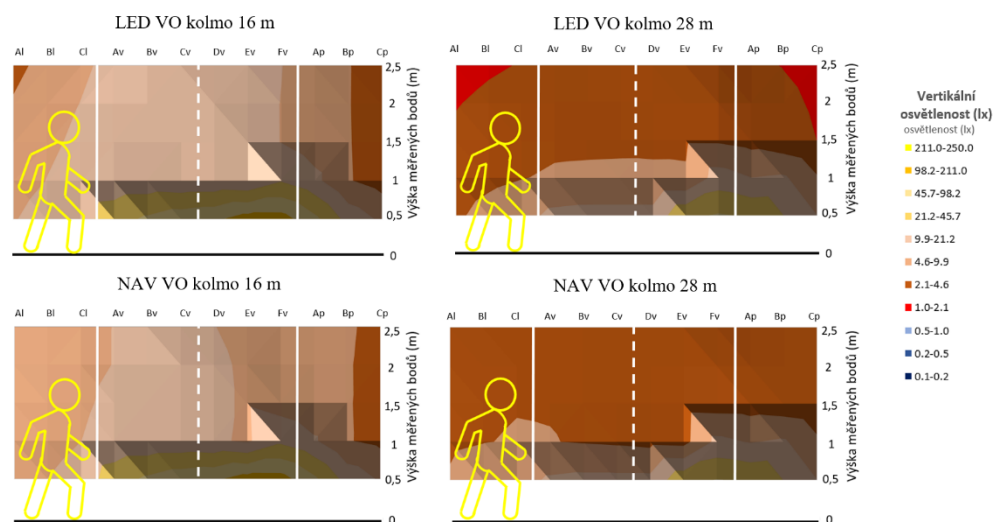
Vliv světlotetů už není v těchto výškových úrovních vůbec znatelný. Navíc vznikají viditelné mezery nižších osvětleností v blízkosti světelných zdrojů. Kritické oblasti vznikají ve vzdálenostech 32 a 68 metrů, kde u LED svítidel je obrys červeně označených hodnot výrazně větší. Ve 2,5 metrech je dokonce možné spatřit u svítidla tvořeného diodami úroveň menší než 1 lx ve vzdálenosti 68 metrů levého doplňkového prostoru.

Ve výšce 2 metry v levém doplňkovém prostoru stále převyšuje hodnota průměrné osvětlenosti u LED svítidel. Co se týče vzdálenosti 28 metrů, zde jsou hodnoty Ev u svítidel s výbojkami téměř dvakrát větší než u LED. V nejvyšší porovnávané výšce nejen že je svítidlo NAV dvojnásobně větší ve vzdálenosti 28 metrů od automobilu, ale dokonce má i větší celkovou osvětlenost porovnávaného prostoru.

Tabulka 31.: Ev levého doplňkového prostoru VO s LED světlotety v 2 a 2,5 m

	Vertikální osvětlenost v 2 m (lx)						Vertikální osvětlenost v 2,5 m (lx)					
	LED			NAV			LED			NAV		
Vzdálenost (m)	AI	BI	CI	AI	BI	CI	AI	BI	CI	AI	BI	CI
28	2.2	2.72	3.14	3.97	4.19	4.33	1.72	2.1	2.43	3.73	3.9	4
24	3.25	4.33	5.35	5.05	5.57	5.77	2.61	3.48	4.31	4.84	5.34	5.55
20	3.99	5.81	7.66	5.83	6.8	7.69	3.18	4.83	6.7	5.68	6.6	7.49
16	5.47	8.02	10	5.84	7.63	9.47	4.1	6.54	9.26	5.64	7.46	9.34
12	7.15	12	17	4.81	7.22	11	5.53	10	15	4.51	6.58	11
8	5.14	8.55	14	3.78	5.02	7.09	4.56	7.83	14	3.86	5.04	7.21
4	2.52	3.43	4.7	3.29	4	5.45	2.31	3.31	4.55	3.05	3.8	5.04
Průměrná hodnota (lx)	6.50			5.90			5.64			5.70		

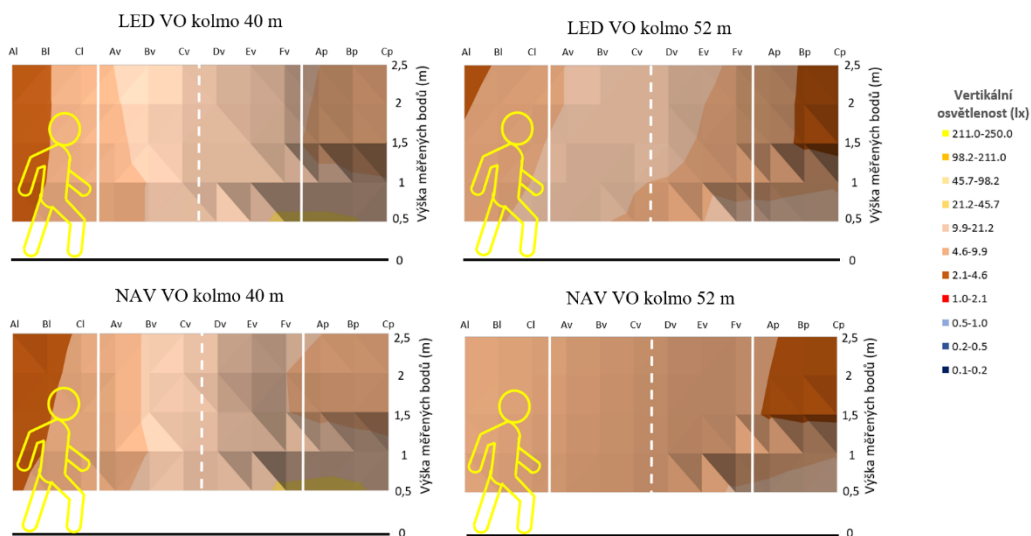
6.3.4 Vertikální osvětlenosti VO s LED světlořady 16 a 28 m od vozidla



Obrázek 60.: Vertikální osvětlenosti VO s LED světlořady 16 a 28 m od vozidla

Co se týče nejbližšího řezu, zde jsou obě varianty přibližně stejné. Rozdíly nastávají při větších vzdálenostech. V oblasti 28 metrů si je možné všimnout červených úrovní u LED už od výšky 1,5 metru. I v tomto případě je z hlediska rovnoměrnosti lepší NAV svítidlo.

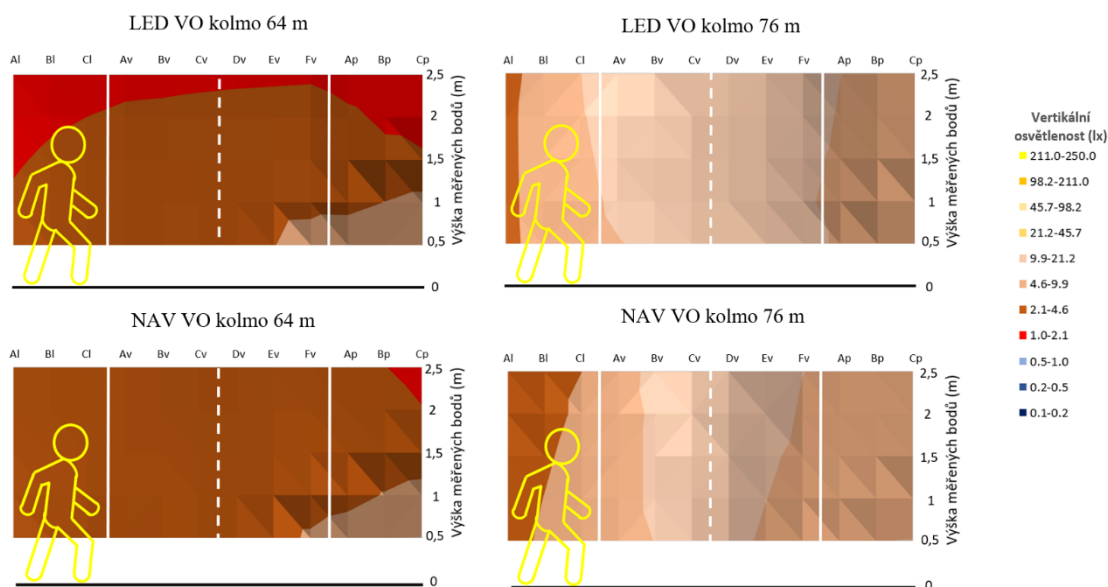
6.3.5 Vertikální osvětlenosti VO s LED světlořady 40 a 52 m od vozidla



Obrázek 61.: Vertikální osvětlenosti VO s LED světlořady 40 a 52 m od vozidla

V těchto vzdálenostech jsou rozdíly VO nepatrné. Je možné říct, že o něco lépe vychází díky větší ploše osvětlenosti nad 4,6 lx, veřejné osvětlení s LED zdroji.

6.3.6 Vertikální osvětlenosti VO s LED světlořetěmi 64 a 76 m od vozidla



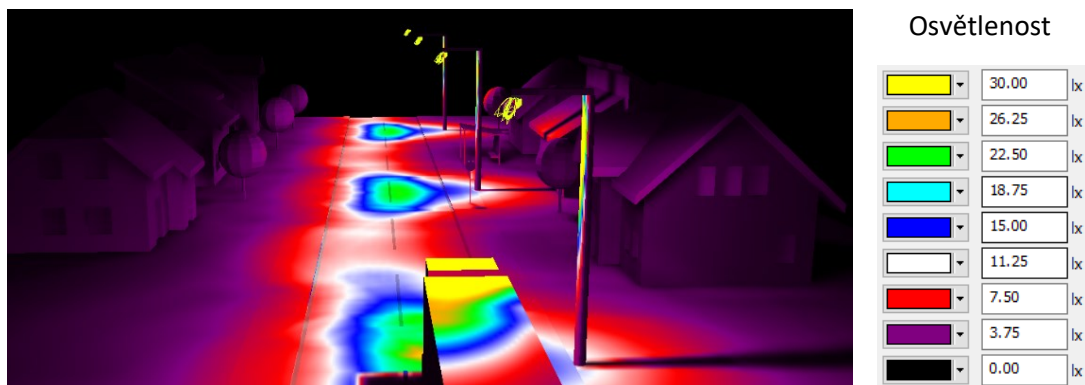
Obrázek 62.: Vertikální osvětlenosti VO s LED světlořetěmi 64 a 76 m od vozidla

Zde nastává velký zlom ve vzdálenosti 64 metrů, kde diodový zdroj zaostává za starší výbojkovou technologií. V oblastech nad 1,5 metru slábne osvětlenost ke kritické hranici. U vysokotlakých sodíkových výbojek je vidět jen velmi malý prostor osvětlenosti menší než 2,1 lx v pravé nejvyšší oblasti 2,5 metru. Naopak u vzdálenosti 76 m je osvětlenost lepší u LED VO.

6.4 Výsledky a zhodnocení různých typů světlořetěů s VO

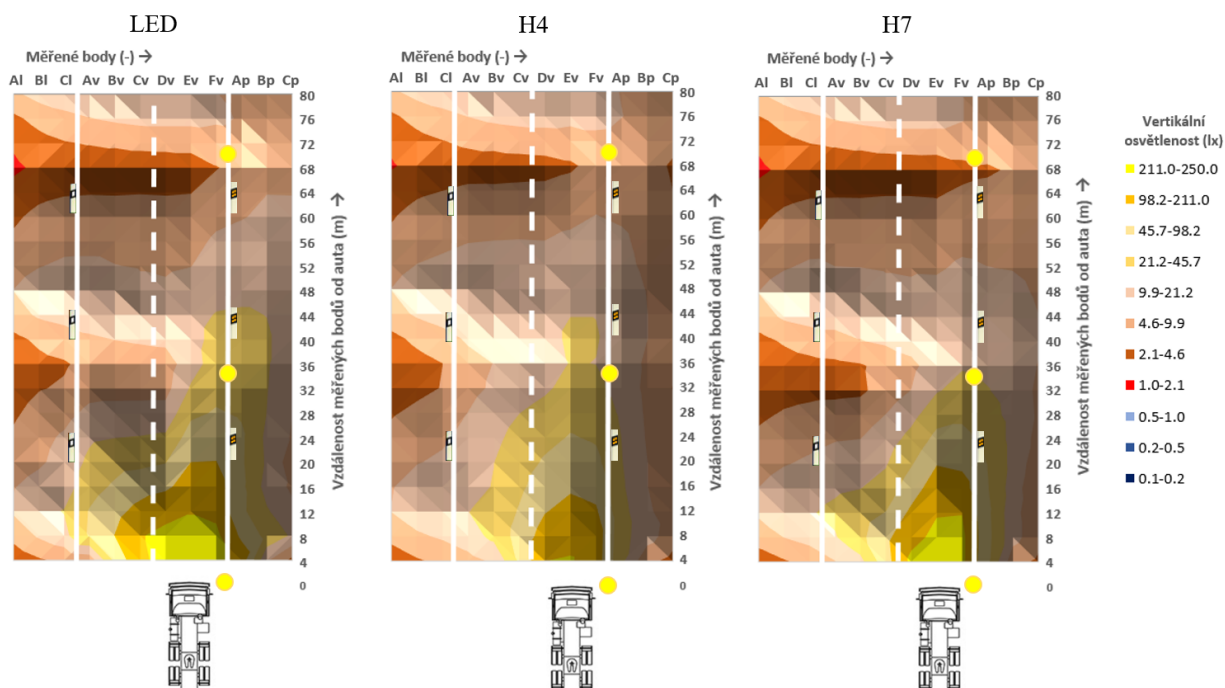
Poslední modelování v praktické části spočívá ve vložení různých druhů světlořetěů s kombinací NAV a poté LED svítidel. Výpočet byl vyhrazen jen na nejdůležitější vertikální osvětlenosti v oblastech 0,5 a 1 metru. Forma výpočtu zůstává stejná jako v předchozích případech. Jako obvykle byly vytvořeny níže grafy stejným způsobem jako v dřívějších kapitolách.

Na obrázku 63 je namodelovaná situace nepravými barvami. Jedná se o kombinaci LED světlořetěů a VO s výbojkami. Pomocí nepravých barev je možné získat v programu Dialux alespoň částečný vizuální přehled o horizontální osvětlenosti komunikace a prostoru kolem ní.



Obrázek 63.: Ilustrační obrázek VO a automobilu s nepravými barvami

6.4.1 Vertikální osvětlenosti LED VO se světlotety v 0,5 m



Obrázek 64.: Vertikální osvětlenosti LED VO se světlotety v 0,5 m

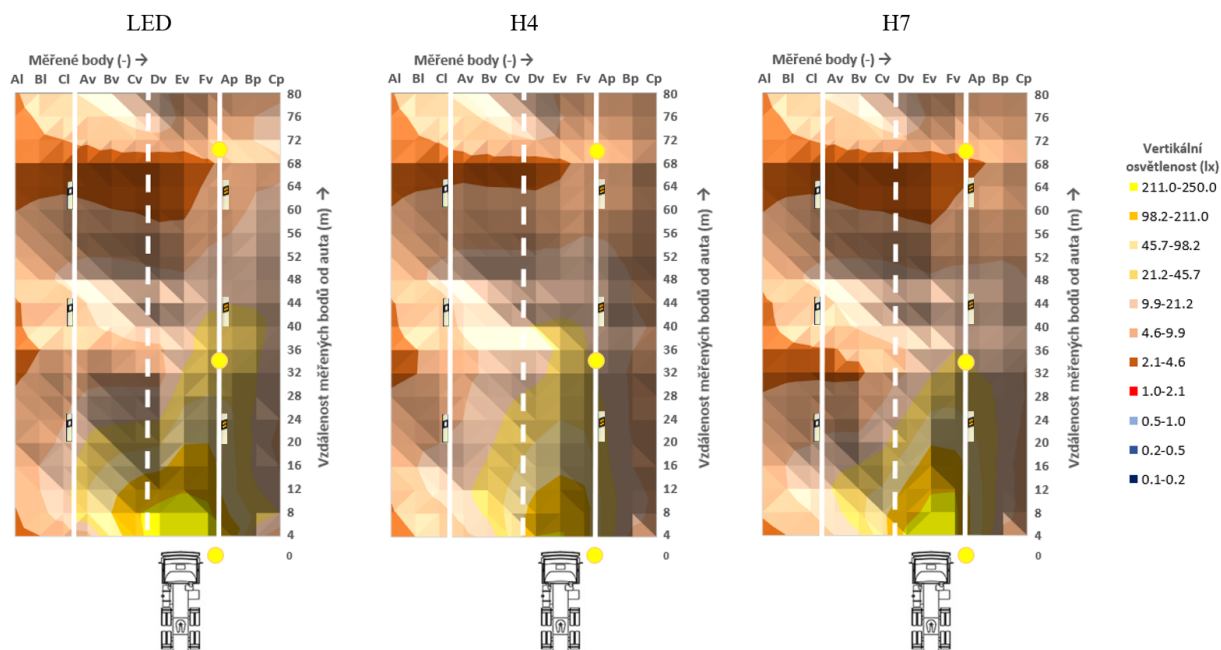
V těchto úrovních se zdá být kombinace nejpříjemnější u automobilu s H4 světlotety. Naopak nejhorší situace nastává u H7, jelikož zde vzniká největší pole osvětlenosti pod 4,6 luxu zasahující až do pravého doplňkového prostoru ve vzdálenosti 68 metrů od vozidla. Je dokonce patrná i menší osvětlenost v levé části komunikace ve vzdálenosti 36 metrů.

Samotné grafy potvrzuje i tabulka 31, kde v porovnání průměrných hodnot osvětlenosti vyhrává LED světlotet. Dokonce vyniká i v osvětlenosti téměř všech vypočtených bodů v levém doplňkovém prostoru do vzdálenosti 28 metrů. Pokud se porovnají ostatní reflektorové světlotety, vychází osvětlenost dopravního prostoru lépe u potkávacích světlotetů se zdroji H7. Ovšem osvětlenost v poslední zmíněné vzdálenosti je lepší u H4 zdroje.

Tabulka 31.: Ev levého doplňkového prostoru světlotetů s LED VO v 0,5 m

Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve výšce 0,5 s LED VO									
Vzdálenost (m)	LED			H4			H7		
	Al	Bl	Cl	Al	Bl	Cl	Al	Bl	Cl
28	4.26	6.29	7.85	4.26	5.39	6.53	3.95	5.04	5.7
24	5.43	8.11	11	5.63	7.67	8.91	5.51	7.22	8.29
20	7.1	9.05	13	6.94	9.57	11	7.23	9.49	11
16	9.97	13	15	9.47	13	15	10	14	16
12	11	17	22	10	15	18	11	17	20
8	5.99	11	17	5.92	8.75	11	6.81	10	13
4	2.85	4.32	5.43	2.7	4.19	5.5	2.75	4.21	5.82
Průměrná hodnota (lx)	9.84			8.78			9.24		

6.4.2 Vertikální osvětlenosti NAV VO se světlořady v 0,5 m



Obrázek 65.: Vertikální osvětlenosti NAV VO se světlořady v 0,5 m

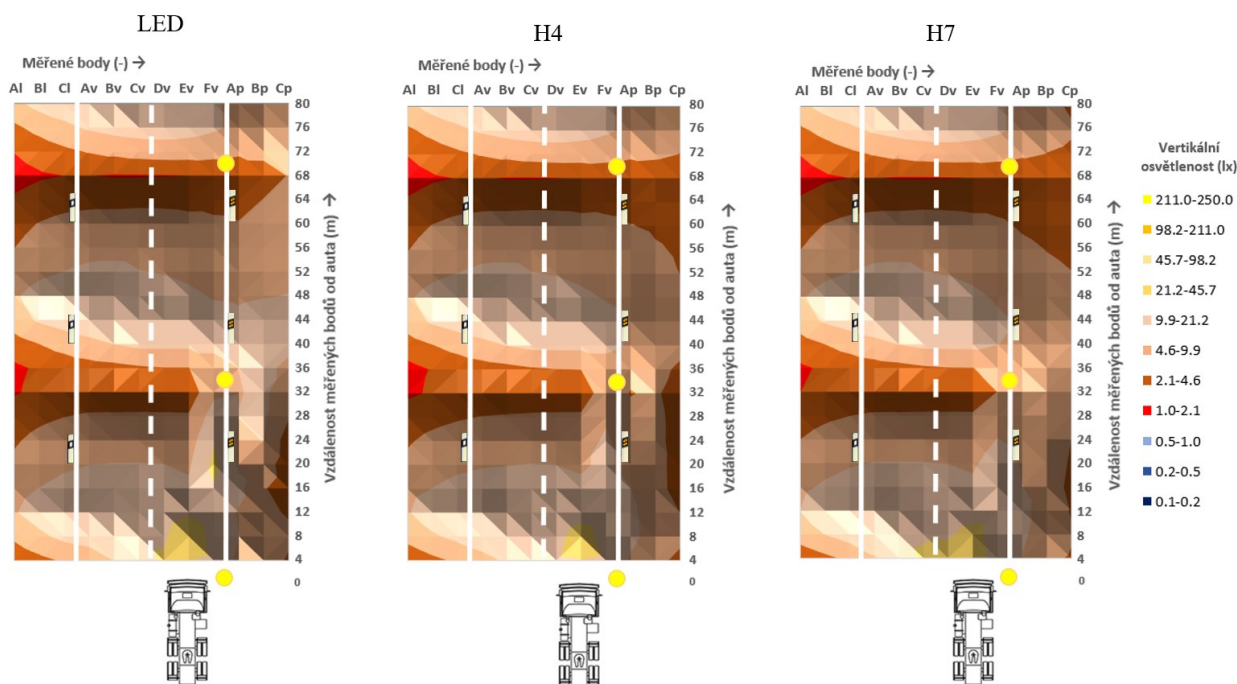
V kombinaci s výbojkami je rovnoměrnost komunikace o něco lepší než v předchozím hodnoceném případě. Levý doplňkový prostor je zaplněn téměř v celé své šíři osvětleností nad 4.6 luxů. V tomto případě je zase nejhorší kombinace s výbojkami a H7 světlořady. Nejlepší vypočtené výsledky nastaly jako v předešlém porovnání u automobilových světlořadů s H4 zdroji.

Co se týče specifických hodnot do 28 metrů popsaných v tabulce 32 níže, zde je nejvíce světelného toku v oblastech s LED světlořadami. Druhé příčky z hlediska průměrné osvětlenosti dosahuje světlořada se zdrojem H7. Ovšem nejvíce vzdálený bod výpočtu od vozovky A_l je nejlepší u automobilu osazeného klasickými reflektorovými světlořadami se zdroji H4.

Tabulka 32.: Ev levého doplňkového prostoru světlořadů s NAV VO v 0,5 m

Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve výšce 0,5 s NAV VO									
	LED			H4			H7		
Vzdálenost (m)	A _l	B _l	C _l	A _l	B _l	C _l	A _l	B _l	C _l
28	4.99	6.39	7.43	5.07	5.56	6.2	4.76	5.21	5.38
24	5.8	7.71	9.77	5.97	7.25	7.66	5.85	6.81	7.03
20	7.03	8.23	12	6.66	8.65	9.84	6.92	8.55	9.47
16	7.64	11	14	6.59	9.6	13	7.36	10	13
12	6.48	11	18	4.97	8.15	12	6	9.74	14
8	4.74	8.85	14	4.24	5.93	7.7	5.13	7.32	9.75
4	3.72	5.01	6.12	3.28	4.56	5.62	3.33	4.58	5.95
Průměrná hodnota (lx)	8.57			7.07			7.44		

6.4.3 Vertikální osvětlenosti LED VO se světlomety v 1 m



Obrázek 66.: Vertikální osvětlenosti LED VO se světlomety v 1 m

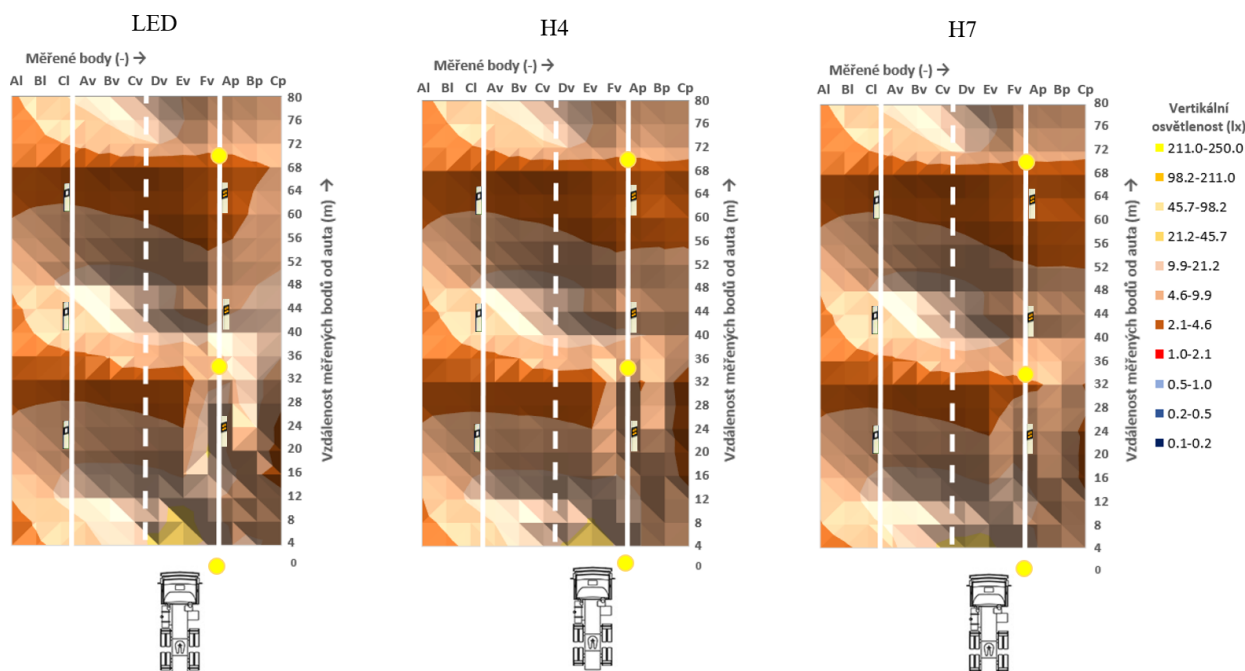
Ve vyšších úrovních se začíná prohlubovat nerovnoměrnost VO. Světlomety nemají zásadní vliv na viditelnost levého doplňkového prostoru, jelikož už vznikají nebezpečně nízké úrovně osvětlenosti. Nejlepší příklad se zdá být u kombinace používající LED technologii jak u VO, tak automobilu. Vysoké hodnoty luxů osvětlují u varianty s LED pravý doplňkový prostor až do vzdáleností 68 metrů od vozidla, zajišťující nejlepší rovnoměrnost z porovnávaných situací.

Do 28 metrů v této výškové úrovni podle tabulky 33 nečekaně vyniká H7 se svou celkovou osvětleností prostoru dosahující 8,23lx. Ve vzdálenosti 28 metrů jsou hodnoty u všech světlometů přibližně stejné. Nejlepší krajní bod A₁ rovnající se 3,26 lx je také u automobilu s nejvíce osvětleným prostorem.

Tabulka 33.: Ev levého doplňkového prostoru světlometů s LED VO v 1 m

Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve výšce 1 m s LED VO									
	LED			H4			H7		
Vzdálenost (m)	A ₁	B ₁	C ₁	A ₁	B ₁	C ₁	A ₁	B ₁	C ₁
28	3.19	4.06	4.72	3.02	3.68	4.25	3.26	4	4.56
24	4.44	5.94	7.18	4.25	5.6	6.63	4.6	5.97	7.06
20	5.65	7.49	8.99	5.46	7.39	8.63	5.96	7.8	9.26
16	8.18	11	12	7.94	10	12	8.49	11	13
12	9.93	15	18	9.34	15	18	10	16	19
8	5.52	8.49	12	5.94	8.9	12	6.82	10	14
4	2.75	3.86	5.08	2.65	3.85	5.19	2.72	3.88	5.36
Průměrná hodnota (lx)	7.78			7.61			8.23		

6.4.4 Vertikální osvětlenosti NAV VO se světlořady v 1 m



Obrázek 67.: Vertikální osvětlenosti NAV VO se světlořady v 1 m

Jako v předchozím případě vyhrává v této porovnávané výšce LED světlořada, který velmi dopomáhá osvětlenosti pravého doplňkového prostoru. Co se týče reflektorových světlořad s H4 a H7 zdroji, jsou si velmi podobné.

Z hlediska levého doplňkového prostoru v menších vzdálenostech je vliv osvětlení světlořady jako v předchozím případě nepatrný. Stejně tak jako u veřejného osvětlení s LED světlořadami, i zde mají hodnoty všechny automobilové světlořady přibližně stejné. V tomto případě ale nastává ve vzdálenosti 28 metrů nejlepší osvětlenost krajního bodu A_l u automobilu používajícího LED technologii.

Tabulka 34.: Ev levého doplňkového prostoru světlořad s NAV VO v 1 m

Vertikální osvětlenosti levého doplňkového prostoru ve výšce 1 m s NAV VO									
	LED			H4			H7		
Vzdálenost (m)	A _l	B _l	C _l	A _l	B _l	C _l	A _l	B _l	C _l
28	4.28	4.63	4.81	4.02	4.17	4.3	4.25	4.5	4.63
24	5.23	5.94	6.18	4.82	5.47	5.56	5.13	5.83	6
20	6.16	7.24	8.1	5.53	6.75	7.27	5.96	7.1	7.87
16	6.48	8.62	11	5.63	7.55	9.56	6.04	8.13	10
12	5.65	8.63	13	4.49	7.16	11	5.21	7.8	11
8	3.82	5.69	8.1	3.85	5.14	7.04	4.42	6.08	8.43
4	3.53	4.71	5.79	3.07	3.99	5.23	3.24	4.13	5.47
Průměrná hodnota (lx)	6.55			5.79			6.25		

7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo provést namodelování reálné situace v nočním dopravním prostoru s automobily osazenými různými typy potkávacích světlometů a různými svítidly používanými pro veřejné osvětlení ve formě případové studie.

V první části se do reálně navržené pozemní komunikace vložily rastry pro výpočet horizontální a vertikální osvětlenosti v různých výškách. Poté se vložil nákladní automobil podle homologačních předpisů s různými druhy světlometů. Aby se docílilo co nejvěrohodnějších parametrů, byly v programu Dialux 4.13 zvoleny pro výpočet hodnoty jak přímé, tak odražené složky. Všechny vypočtené hodnoty byly pro lepší porovnání vloženy do obrysových grafů hodnot. Z hlediska osvětlenosti je nejvíce světelného toku směřováno na úroveň 0,5 m nad komunikací. Dále jsou ve všech případech osvětlenosti více orientované do pravého doplňkového prostoru, to je samozřejmě způsobeno snahou zabránit oslnění protijedoucích vozidel. Ovšem tímto faktem je velmi snížena osvětlenost levého doplňkového prostoru ve všech vypočtených variantách. Co je také velice znepokojivé, je rozložení světelného toku světlometů ve výšce větší než 1 metr nad komunikací, kde osvětlenosti levé strany komunikace a doplňkový prostor nedosahují ani zdaleka reakční dráhy řidiče při suché vozovce. Tento fakt zdůrazňuje důležitost používání reflexních prvků na oblečení chodců, dopravních značeních nebo samotné osvětlení dopravního značení.

Z výpočtu vyplývá, že potkávací světlomety osvětlují chodce v reakční dráze 28 metrů maximálně do výšky pasu, a nutno podotknout, že tato reakční dráha je pro silnice s ideálním možným stavem. Tímto práce poukazuje na fakt, že potkávací světlomety zdaleka nedostačují k viditelnosti v noční dopravním prostoru, a pokud chceme zabránit tragickým nehodám z důvodů pozdní reakce řidiče, je nutné ve všech případech snížené osvětlenosti komunikace použití dálkových světlometů nebo veřejného osvětlení.

V druhé části práce bylo navrženo veřejné osvětlení s LED a NAV svítidly tak, aby splňovalo parametry tříd M4 a P4 podle normy ČSN EN 13201-2, které se následně vložily do rastrů používaných v první části pro výpočet světlometů. Porovnání poukazuje na fakt, že i když LED svítidla mají velké kvalitativní výhody, stále se najdou parametry, ve kterých je starší používané světelné zdroje převyšují. V tomto případě se jedná o rovnoměrnost osvětleností komunikace, která je u NAV svítidel, při stejném jednostranném umístění VO, lepší než LED.

Další část spočívala ve vložení automobilu s LED potkávacími světlomety do navrženého veřejného osvětlení. Následně byly porovnány tyto dva druhy svítidel v různých výškách s přispěním světelného toku LED světlometů. Z výpočtu bylo dokázáno, že světlomety automobilů dokážou ovlivnit osvětlenost komunikace jen do výšky 1 metru, ve kterých zlepšují nejen osvětlenost, ale i rovnoměrnost vozovky a doplňkových prostor. Dále je možné říct, že se například u LED kombinace jak VO, tak světlometů se oproti komunikaci osvětlené jen světlomety zvýšila průměrná osvětlenost levého doplňkového prostoru do vzdálenosti 28 metrů od vozidla ve výšce 0,5 m až více než čtyřnásobně.

Ve vyšších úrovních už je osvětlenost levého prostoru porovnatelná pouze z hlediska VO kvůli malému příspěvku světelného toku potkávacích světlometů. Rovnoměrnost vertikální osvětlenosti VO se rapidně zmenšuje v oblastech vyšších vypočtených rastrů a tím způsobuje v určitých vzdálenostech kritické úrovně osvětlenosti například u dopravního značení umístěného v doplňkových prostorech.

Poslední část je zaměřena na porovnávání vertikální osvětlenosti různých potkávacích světlometů a různých typů veřejného osvětlení v nižších výškových úrovních do 1 metru. Výpočty potvrzují, že z hlediska průměrné osvětlenosti prostoru do 28 m je E_v nejlepší u kombinace jak LED svítidel, tak světlometů. Ovšem na druhou stranu nejlepší osvětlenost ve vzdálenosti 28 metrů je generována pomocí výbojek s potkávacími světlomety se zdroji H4. Naopak nejhorší variantou je LED VO se světlomety, ve kterých je zdroj H7.

V praktické části práce jsem použil výpočet 42 vodorovných a 30 kolmých rastrů pro zjištění jak vertikálních, tak horizontálních osvětleností. Celkem bylo vypočteno 11880 bodů osvětlenosti, které dodávají velmi podrobný popis viditelnosti chodců či překážek v nočním dopravním prostoru. Vzhledem k vysokému počtu vypočtených bodů by reálné měření na komunikaci bylo téměř nemožné.

Tato diplomová práce může sloužit jako podklad pro další analýzu chování různých typů potkávacích světlometů v kombinaci s veřejným osvětlením a zjištění důležitých parametrů pro viditelnost jak chodců, tak jiných předmětů vyskytujících se v nočním dopravním prostoru. Jelikož se jedná o případovou studii, existuje nespočet možných variant, ve kterých je možné tento postup použít.

Zpracování této diplomové práce výrazně rozšířilo moje znalosti problematiky automobilových světlometů a viditelnosti v nočním dopravním prostoru. V budoucnu bych se rád zabýval svítidly, která svým správným navržením dokážou zlepšit viditelnost na pozemních komunikacích.

Seznam použité literatury

- [1] Bernd Schäppi. Thomas Bogner. Směrnice pro veřejné zakázky a návrh veřejného osvětlení Vídeň, říjen 2017 [online]. Copyright © [cit. 31.03.2021]. Dostupné z: http://www.premiumlight.cz/fileadmin/cz/pdf/CS_outdoor-cs-guidelines.pdf
- [2] ČSN CEN/TR 13201-1. *Osvětlení pozemních komunikací – Část 1: Návod pro výběr tříd osvětlení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [3] ČSN EN 13201-2. *Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [4] ČSN EN 13201-3. *Osvětlení pozemních komunikací – Část 3: Výpočet*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [5] DSpace VŠB-TUO [online]. Copyright © [cit. 31.03.2021]. Dostupné z: http://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/136231/NOV0395_FEI_N2649_3907T001_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [6] HABEL, Jiří a kolektiv. 2013. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 622 s. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [7] DSpace VŠB-TUO [online]. Copyright © [cit. 31.03.2021]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/136230/NEO0006_FEI_B2649_3907R001_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [8] SOKANSKÝ, Karel, Tomáš NOVÁK, Marek BÁLSKÝ, Zdeněk BLÁHA, Zbyněk CARBOL, Daniel DIVIŠ, Blahoslav SOCHA, Jaroslav ŠNOBL, Jan ŠUMPICH a Petr ZÁVADA. *Světelná technika*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 255 s. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [9] MODUS | MODUS PARKLED. MODUS | Český výrobce svítidel [online]. Dostupné z: <https://www.modus.cz/modus-parkled/>
- [10] MODUS | MODUS UL. MODUS | Český výrobce svítidel [online]. Dostupné z: <https://www.modus.cz/modus-ul/>
- [11] [online]. Copyright © [cit. 31.03.2021]. Dostupné z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2006-05-292-300.pdf>
- [12] Vysoké učení technické v Brně [online]. Copyright © [cit. 31.03.2021]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=64553
- [13] Škoda vsází na bezpečné Matrix-LED světlomety a prezentuje hlavní výhody - Autoweb.cz. Autoweb.cz - Magazín o autech [online]. Dostupné z: <https://www.autoweb.cz/skoda-vsazi-bezpecne-matrix-led-svetlomety-prezentuje-hlavni-vyhody/>
- [14] E/ECE/324-E/ECE/TRANS/505/Rev.2/add. 111/Rev.1 Předpis č.112. *Dohoda o přijetí jednotných technických pravidel pro kolová vozidla, zařízení a části, které se mohou montovat a/nebo užívat na kolových vozidlech a o podmínkách pro vzájemné uznávání homologací, udělených na základě těchto pravidel*. 16.října 1995
- [15] Reakční doba řidiče. Jiří Plch, Doc.,Ing.,CSc. - PDF Free Download. Představujeme Vám pohodlné a bezplatné nástroje pro publikování a sdílení informací. [online]. Copyright © DocPlayer.cz [cit. 28.03.2021]. Dostupné z: https://docplayer.cz/10899230-Reakcni-doba-ridice-jiri-plch-doc-ing-csc-jiri_plch-volny-cz.html

- [16] Brzdňá dráha a rychlost. Bezpečné cesty.cz [online]. Copyright © 2014 [cit.28.03.2021]. Dostupné z: <https://www.bezpecnecesty.cz/cz/bezpecna-jizda-v-aute/brzdna-draha-a-rychlost>
- [17] Reflexní a fluorescenční materiály zvyšují bezpečnost na silnicích. Bezpečné cesty.cz [online]. Copyright © 2014 [cit. 31.03.2021]. Dostupné z: <https://www.bezpecnecesty.cz/cz/dopravni-vychova/dopravni-vychova-ve-skolach/chodec/reflexni-a-fluorescencni-materialy-zvysuji-bezpecnost-na-silnicich>
- [18] TP 65, *Zásady pro dopravní značení na pozemních komunikacích*. Ministerstvo dopravy, obor pozemních komunikací. 2013
- [19] Víte, jak fungují LED Matrix světlomety a proč je opravdu dobré je mít? Vysvětlíme vám to | Autohled.cz. Autohled.cz - Porovnání a recenze aut [online]. Dostupné z: <https://www.autohled.cz/magazin/vite-jak-funguji-led-matrix-svetlomety-a-proc-je-opravdu-dobre-je-mit-vysvetlime-vam-to/195>
- [20] [online]. Copyright © [cit. 31.03.2021]. Dostupné z: https://k622.fd.cvut.cz/downloads/zaverene_prace/bp_becicova_2011.pdf
- [21] Clony proti oslnění – Renanova. Renanova [online]. Dostupné z: <http://www.renanova.cz/ostatni-vyroby/clony-proti-oslneni>
- [22] [online]. Copyright ©n [cit. 04.04.2021]. Dostupné z: <https://eshop.elkov.cz/download/6F76757980-6F5C5A5A5A5A5A5A6F5B625E-katalog-svitidel-artehnic-schreder-2014.pdf&ctype=application/pdf&noattach=1>
- [23] R2L2 S 36L50 WSC 740 CL1 — Česká republika (Čeština). 301 Moved Permanently [online]. Copyright © 2021 Thorn [cit. 04.04.2021]. Dostupné z: <http://www.thornlighting.cz/cs-cz/produkty/venkovni-osvetleni/ulicni-osvetleni/R2L2/r2l2-small-komfortni-siroka-optika/96268483>
- [24] STK ŠPÁRA [online]. Copyright ©Ž [cit. 10.04.2021]. Dostupné z: https://stk-spara.cz/repository/images/soubory/673_Legal_Requirements_Brochure_HELLA_CZ.pdf
- [25] CORE – Aggregating the world's open access research papers [online]. Copyright © [cit. 11.04.2021]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/161963017.pdf>
- [26] [online]. Copyright © [cit. 17.04.2021]. Dostupné z: <https://www.stavebniklub.cz/33/osvetlovani-prechodu-pro-chodce-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EsriOTq34uiLdvP4-uUTiUo/>

Příloha v IS EDISON

Příloha A: *Dialux modely*

Příloha B: *Výpočty osvětlenosti*